

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES

# **DISEÑO Y CÁLCULO ESTRUCTURAL DE TANQUE PARA INDUSTRIA PETROQUÍMICA Y DE CUNAS PARA SU TRANSPORTE**

**Autor:**

Aarón Juan Martínez

**Empresa:**

Montajes y Servicios Mecánicos ALVA S.L.

**Tutora Universidad Jaume I:**

M<sup>a</sup> Dolores Martínez Rodrigo

**Castellón, julio de 2020**



# ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA.....	7
DOCUMENTO II: ANEXOS.....	71
DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES.....	188
DOCUMENTO IV: MEDICIONES Y PRESUPUESTO.....	251
DOCUMENTO V: PLANOS.....	271





# ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- **m**: metros (longitud)
- **km/h**: kilómetros por hora (velocidad)
- **m/s<sup>2</sup>**: metros por segundo al cuadrado (aceleración)
- **m<sup>3</sup>**: metros cúbicos (volumen)
- **dm<sup>3</sup>**: decímetros cúbicos (volumen)
- **°C**: grados Celsius (temperatura)
- **°F**: grados Fahrenheit (temperatura)
- **kg**: kilogramos (masa)
- **Pa**: pascuales (presión)
- **kPa**: kilopascuales (presión)
- **MPa**: megapascuales (presión)
- **J/m<sup>3</sup>**: julios por metro cúbico (presión)
- **N/mm<sup>2</sup>**: newtons por milímetro cuadrado (presión)
- **kN**: kilonewtons (fuerza)
- **m x kN**: metros por kilonewton (momento)
- **kg/m<sup>3</sup>**: kilogramos por metro cúbico (densidad)
- **uds**: unidades



**DOCUMENTO I:**

**MEMORIA**

**DESCRITIVA**



# ÍNDICE DE LA MEMORIA

## DESCRIPTIVA

1. JUSTIFICACIÓN.....	12
2. OBJETO .....	13
3. ALCANCE.....	14
4. ANTECEDENTES.....	15
5. NORMAS Y REFERENCIAS .....	16
5.1 Disposiciones legales y normas .....	16
5.2 Programas de cálculo.....	16
5.3 Bibliografía .....	17
6. REQUISITOS DE DISEÑO .....	18
6.1 Requisitos de diseño proporcionados por el cliente.....	18
6.2 Situación y emplazamiento.....	19
7. ACEROS UTILIZADOS.....	20
7.1 Aceros.....	20
7.2 Características mecánicas de los aceros.....	22
7.3 Nomenclatura y características de los materiales que conforman el tanque.....	23
8. BASES DE CÁLCULO .....	27
8.1 API 650 .....	27
8.1.1 Aplicación del API 650 en el tanque.....	31
8.2 Cálculo por elementos finitos.....	34

8.2.1 Aplicación del cálculo por elementos finitos en el tanque mediante el software SolidWorks Simulation .....	35
8.3 Criterio de Von Mises .....	39
8.3.1 Aplicación del criterio de Von Mises en el tanque.....	42
9. RESULTADOS FINALES.....	43
9.1 Resultados del diseño del tanque según API 650 .....	43
9.2 Resultados del cálculo estructural del tanque .....	45
9.2.1 Situación natural del tanque .....	46
9.2.2 Izado del tanque en posición vertical.....	51
9.2.3 Izado del tanque en posición horizontal.....	55
9.2.4 Apoyo del tanque en cunas .....	60
9.3 Conclusión .....	63
10. RESUMEN DEL PRESUPUESTO .....	64
11. VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y LEGAL .....	66
12. CONCLUSIONES .....	67



## **1. JUSTIFICACIÓN**

La industria petroquímica se dedica a obtener derivados químicos del petróleo y de sus gases asociados. De esta manera, se obtienen productos tales como la gasolina, el gasoil o el gas licuado del petróleo. La formación de estos productos requiere de diversos procesos de transformación, por lo que se necesitan recipientes donde almacenar las sustancias. Dado que se trabaja con grandes cantidades, este tipo de industrias requiere grandes tanques de almacenamiento.

Este TFG surge a raíz de la necesidad de una empresa dedicada a la industria petroquímica de disponer de un tanque de almacenamiento de unas determinadas características. La empresa en cuestión está situada en Jorf Lasfar, un puerto comercial de la costa atlántica de Marruecos.



## **2. OBJETO**

El objetivo de este documento es el diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento para una empresa dedicada a la industria petroquímica.

Para llevar a cabo el diseño de dicho tanque, y una vez que son conocidos los datos de partida que impone el cliente, se tomará como referencia el código de diseño API 650. El alcance de este código se limita a los tanques que almacenan fluidos en estado líquido, que operan a presión atmosférica o presiones internas menores de 18 kPa. Esto permitirá definir aspectos de diseño clave tales como espesores de techo, virola y suelo o si hay necesidad de anclajes.

En cuanto al cálculo, se busca comprobar mediante programas informáticos que el tanque es capaz de soportar las tensiones que sufrirá en las situaciones más críticas. Las 4 situaciones que se analizan son las siguientes: el tanque en su situación natural, cuando se encuentra en su uso normal; el izado vertical del tanque; el izado horizontal del tanque y el apoyo del tanque en cunas encima del camión. Las 3 últimas, son las situaciones más críticas durante el transporte del tanque.

### **3. ALCANCE**

El proyecto abarcará el diseño y el cálculo estructural del tanque en diferentes situaciones.

El diseño del tanque se realizará mediante el código de diseño API 650 y abarcará las partes fundamentales del tanque. Incluye, por tanto, la búsqueda del óptimo espesor de suelo, virola y techo, el cálculo de rigidez de la virola para determinar si es necesaria una viga rompevientos, el cálculo de carga de viento para determinar si es necesario el anclaje del tanque al suelo y el cálculo del espacio libre de líquido para protección en caso de olas. Quedan, por tanto, exentos del diseño, el espesor de los diferentes tubos y resto de componentes unidos al tanque, así como la boca de hombre. De todos estos se adoptarán espesores lógicos, como el caso de los tubos donde el espesor está relacionado con su diámetro.

En cuanto al cálculo estructural, se realiza un cálculo por elementos finitos para comprobar el criterio de Von Mises. Esto se hace para 4 situaciones concretas. Una es la situación natural del tanque y el resto, forman parte de las situaciones más críticas durante el transporte, como son izado vertical, horizontal y apoyo en cunas. Para el cálculo estructural de estas 4 situaciones, los elementos que se dimensionarán son el suelo, la virola, el techo, la boca de hombre, los trunios de izado y la orejeta. Quedan de esta forma, fuera del cálculo estructural los diferentes tubos que se unen al tanque ya que suponen un enorme esfuerzo de cálculo y dada su pequeña masa no sufrirán grandes tensiones.

#### **4. ANTECEDENTES**

La empresa que contrata este proyecto tiene la necesidad de aumentar el volumen de productos que son capaces de almacenar y de esta manera incrementar su producción. Para ello requieren de la construcción de otro tanque de almacenamiento.

Para esto, la empresa ya dispone del espacio suficiente para ubicar el tanque y ha aportado los datos y requisitos necesarios para que el tanque cumpla con la función que requieren. Además, se impone como norma de diseño el API 650, ya que lo requiere el cliente y el tanque tiene las características de presión y temperatura bajo las cuales se puede aplicar esta norma. Y en cuanto al transporte, disponen de lo necesario para el transporte del tanque mediante camión y barco.

## 5. NORMAS Y REFERENCIAS

### 5.1 Disposiciones legales y normas

Las diferentes normas que han sido utilizadas para la realización de este proyecto son las siguientes:

- **UNE 157001:** Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.
- **UNE 1027:** Dibujos técnicos. Plegado de planos.
- **UNE-EN 10027-1:** Sistemas de designación de aceros. Parte 1: Designación simbólica.
- **UNE-EN 1990:** Bases de cálculo de estructuras.
- **API 650:** Código de diseño para tanques atmosféricos de almacenamiento sobre la superficie
- **UNE-EN 1991-1-3:** Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve.
- **UNE-EN 1991-1-4:** Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.

### 5.2 Programas de cálculo

Se han utilizado varios programas informáticos para la realización del proyecto. Estos han servido para llevar a cabo el modelado 3D del tanque, para realizar su cálculo estructural y para realizar los planos constructivos del tanque.

Los programas utilizados son los siguientes:

- **SolidWorks:** es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) para llevar a cabo modelado mecánico en 2D y 3D. Este se ha utilizado para el modelado

del tanque. Se ha realizado un modelado completo del tanque que es útil para tener una visión global del tanque y también en la comprobación de los planos. Y, además, se ha realizado un modelado simplificado, sin tubos y otros elementos unidos al tanque, para posteriormente realizar el cálculo estructural con SolidWorks Simulation.

- **SolidWorks Simulation:** es un paquete dentro de SolidWorks que permite implementar un modelo de elementos finitos a partir de la geometría, y resolver el problema de tensiones y deformaciones. SolidWorks Simulation dispone de diversos tipos de estudios, pero el que se lleva a cabo para el tanque es un estudio estático o de tensión. Este, mediante cálculo por elementos finitos, permite obtener para una enorme cantidad de puntos del tanque, sus tensiones de Von Mises y desplazamientos. Por tanto, se utiliza para el cálculo estructural de las 4 situaciones, aplicando en cada una de ellas las condiciones de contorno y cargas que aplican.
- **AutoCAD:** es un software de diseño asistido por ordenador (CAD) para llevar a cabo dibujo 2D y modelado 3D. Este se ha utilizado para el dibujo 2D, y así realizar los planos definitivos del tanque.

### 5.3 Bibliografía

- Temario asignatura ET1026: Teoría de estructuras.
- [www.generadordeprecios.com](http://www.generadordeprecios.com)
- [http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/cworks/c\\_Background\\_on\\_Meshing.htm?id=a7986086bac146908a21fb148ba7a8f5#Pg0](http://help.solidworks.com/2016/spanish/SolidWorks/cworks/c_Background_on_Meshing.htm?id=a7986086bac146908a21fb148ba7a8f5#Pg0)
- [www.octalacero.com](http://www.octalacero.com)

## **6. REQUISITOS DE DISEÑO**

### **6.1 Requisitos de diseño proporcionados por el cliente**

Para la realización del tanque, el cliente ha proporcionado los requisitos que este debe cumplir.

- El tanque ha de tener un diámetro de 4,5 metros y una altura hasta el techo de 6,8 metros. Siendo así la capacidad nominal del tanque de 108 metros cúbicos.
- La virola debe estar formada por 3 anillos. Los de arriba y abajo deben tener una altura de 2,5 metros mientras que el central de 1,8 metros.
- La presión de diseño es la atmosférica y la localización del tanque es al aire libre.
- El diseño de las partes fundamentales del tanque ha de seguir el código de diseño API 650. Y el material principal del tanque será el acero al carbono A516 – Grado 70.
- Las tolerancias de corrosión para las partes fundamentales del tanque (suelo, virola y techo) es de 3 milímetros.
- La mínima temperatura de diseño es de 0 °C mientras que la máxima es de 85 °C.
- La tensión de diseño será de 173 MPa mientras que la de prueba de tensión hidrostática será de 195 MPa.
- El contenido del tanque será una solución cáustica de hidróxido de sodio (NaOH) al 10%.

Además de estos datos, el cliente también aporta mucha información de las dimensiones y posiciones de los diferentes componentes que se puede observar en el apartado 1.1 del Anexo 1 del documento Anexos, en las Figuras 34, 35, 36 y 37.

## **6.2 Situación y emplazamiento**

La empresa donde se hará uso del tanque, como se ha desarrollado anteriormente, está dedicada a la industria petroquímica en una zona de la costa atlántica de Marruecos, conocida como Jorf Lasfar. En el Plano 1: “Situación y emplazamiento” del documento Planos, se puede observar su localización exacta. Esta localización se tendrá en cuenta a la hora de definir la carga de nieve y de viento.

## **7. ACEROS UTILIZADOS**

### **7.1 Aceros**

El acero se trata de un material formado por la aleación de hierro y carbono. Contiene más hierro en peso que cualquier otro elemento simple y el contenido en carbono es variable, se encuentra entre el 0,08% y el 2% en masa de la composición total.

Por su alto contenido de hierro, el acero conserva la mayoría de las características del hierro puro. La adición de carbono y de otros elementos mejora las propiedades fisicoquímicas del acero.

Hay muchos tipos de acero que se diferencian por el o los elementos aleantes. La definición de acero del primer párrafo que especifica únicamente el porcentaje de carbono se corresponde con el acero al carbono. Este tiene como único aleante el carbono y se trata del principal material de construcción, tanto construcción civil como mecánica.

Los aceros que están destinados a estructuras metálicas como tanques, suelen tener como mucho un 0,25% de carbono. Es decir, se trata de aceros hipoeutectoides al tener un contenido de carbono inferior al 0,77%. Su composición tiene perlita y ferrita. Esto se muestra en la Figura 1, donde se puede observar el diagrama de equilibrio hierro-carbono.



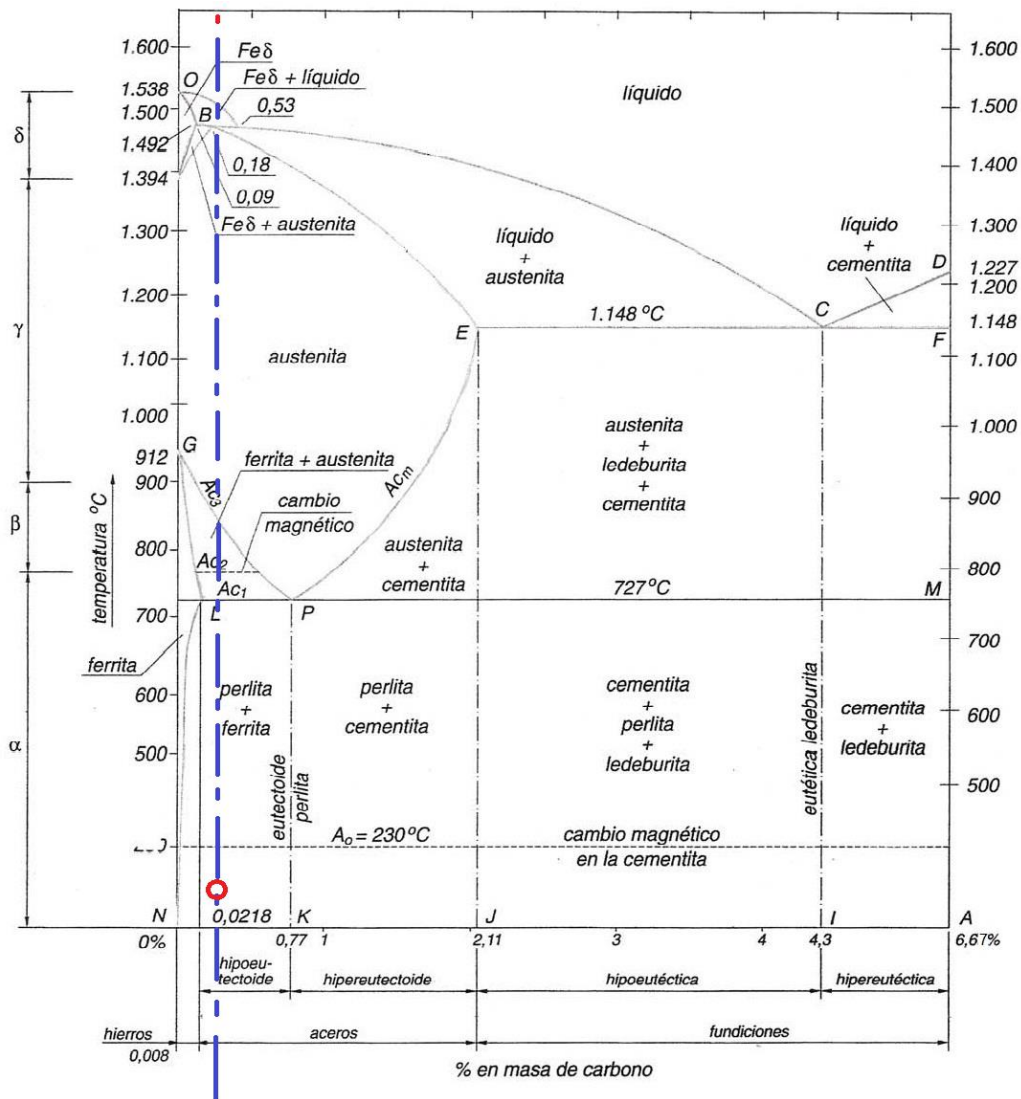


Figura 1: Diagrama de equilibrio hierro-carbono

Dentro de los aceros hipoeutectoides se puede hacer una nueva clasificación. Los aceros que tienen un porcentaje en carbono inferior al 0,2% son aceros bajos en carbono o también conocidos como aceros ferríticos. Son muy dúctiles, deformables y de poca resistencia. Los que tienen un porcentaje de carbono entre el 0,5% y el 0,77% son aceros de alto carbono o también conocidos como aceros perlíticos. Tienen una gran resistencia y dureza, pero baja ductilidad y tenacidad. Los que tienen un porcentaje en carbono entre el 0,2% y el 0,5% (acero de casi todos los elementos del tanque de almacenamiento) son aceros al carbono medios. La mayoría del acero comercial es

este. Sus propiedades son dependientes de la cantidad de ferrita y perlita, de manera que en este tipo se engloban materiales con distintas prestaciones.

## **7.2 Características mecánicas de los aceros**

Los aceros comparten ciertas características. Las siguientes características son prácticamente independientes de la composición:

- Módulo de elasticidad (E):  $E = 210000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$
- Módulo de elasticidad transversal o módulo de rigidez (G):  $G = 81000 \text{ MPa (N/mm}^2\text{)}$
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ):  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ):  $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$
- Densidad ( $\rho$ ):  $7850 \text{ kg/m}^3$

Las características mecánicas que sí cambian y sí diferencian los diferentes tipos de acero tienen que ver con la resistencia.

La resistencia de un material es su capacidad para soportar esfuerzos sin romperse y sin sufrir deformaciones permanentes. Se puede determinar con un ensayo a tracción.

Las características de resistencia son:

- Límite elástico ( $f_y$ ): Es la máxima tensión que un material es capaz de soportar sin sufrir deformaciones permanentes. Unidades: Pa
- Tensión de rotura ( $\sigma_r$ ): Es la máxima tensión que un material es capaz de soportar sin que su sección transversal se contraiga significativamente o rompa. Unidades: Pa

### 7.3 Nomenclatura y características de los materiales que conforman el tanque

Hay una gran variedad de formas de clasificar e identificar a los aceros. Designar simbólicamente a los aceros permite conocer sus características físicas, químicas o tecnológicas.

En este apartado se exponen 2 de ellas y se expondrán cuales son los materiales de los que están formados los distintos componentes del tanque de almacenamiento.

La primera de ellas es la norma UNE-EN 10027-1, que establece las reglas para designar los aceros mediante números y letras que expresan ciertas características mecánicas, químicas, física, etc.

Un acero nombrado de esta forma es el S275 JR. Este es el acero utilizado para el angular de coronación del tanque, que une el techo con la virola. La S, indica que se trata de un acero para construcción metálica. El número que viene a continuación indica el valor del límite elástico en MPa, en este caso es de 275 MPa. Y a continuación hay unos símbolos adicionales, que se recogen en la Tabla 1:

Símbolos adicionales para los aceros de construcción				
GRUPO 1				GRUPO 2
Características de flexión por choque en Julios (J)			Temperatura de ensayo	C= Conformado especial en frío D= Galvanización en caliente E= Esmaltado F= Forjado H= Perfil hueco L= Baja temperatura M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización P= Tablestacas Q= Templado y revenido S= Construcción naval T= Tubos W= Resistentes a la corrosión atmosférica
27J	40J	60J	°C	
JR	KR	LR	20	
J0	K0	L0	0	
J2	K2	L2	-20	
J3	K3	L3	-30	
J4	K4	L4	-40	
J5	K5	L5	-50	
J6	K6	L6	-60	
A= Endurecimiento por precipitación M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización Q= Templado y revenido G= Otras características				
Nota: los símbolos A, M, N y Q se aplican a los aceros de grano fino				

Tabla 1: Símbolos adicionales para aceros de construcción según norma UNE-EN 10027-1

En el material, el símbolo adicional es JR e indica que el acero tiene una energía por choque de 27 Julios a una temperatura de ensayo de 20 °C. Los aceros con símbolo JR se utilizan en construcción ordinaria.

La otra de las normas para clasificar aceros es la norma ASTM, que no especifica la composición o límite elástico, sino que determina la aplicación o el ámbito de empleo del material.

En esta norma, las letras indican el grupo de aplicación. Para los materiales que conforman el tanque solo aparecen SA (especificación para aceros) y SS (acero estructural). Los números siguientes concretan más su uso. A continuación, se van a detallar los materiales de los distintos elementos del tanque siguiendo esta norma ASTM:

Para todas las chapas, incluidas las que conforman suelo, virola y techo, el material será el acero SA-516 Grado 70. Este material se utiliza fundamentalmente para recipientes a presión soldados con temperaturas moderadas o bajas. Los grados de este material pueden ser 55, 60, 65 y 70, cuanto mayor es el grado, mejores son las propiedades de resistencia. Las propiedades más significativas del SA-516 Grado 70 son un límite elástico de 260 MPa y una tensión de rotura de 485 MPa.

Para los tubos del tanque, el material será el acero SA-106 Grado B. La especificación ASTM SA-106 se define para el tubo de acero al carbono sin costura. Los grados de este material son el A, B y C. Cada grado indica una determinada composición e implica unas propiedades de resistencia, siendo el A el de más bajas propiedades y el C el de más altas. Las propiedades más significativas del SA-106 Grado B son un límite elástico de 240 MPa y una tensión de rotura de 415 MPa.

Para los codos del tanque, el material será el acero SA-234 WPB. La especificación ASTM SA-234 se define para accesorios para tubos de acero aleado. Los accesorios

incluyen codos de 45 o 90 grados, tubo T, boquillas, etc. Esta especificación tiene diferentes grados como WPB, WPC, WP11, WP12, etc. El grado WPB que se utilizará en los codos del tanque es el más común para tuberías con temperaturas medias y altas. Las propiedades más significativas del SA-234 WPB son un límite elástico de 240 MPa y una tensión de rotura de 415 MPa.

Para las bridas del tanque, el material será el acero SA-105. La especificación ASTM SA-105 se define para las bridas de acero aleado. Las propiedades más significativas del SA-105 son un límite elástico de 250 MPa y una tensión de rotura de 485 MPa.

Para los pernos del tanque, el material será el acero SA-193 B7. La especificación ASTM SA-193 se define para las barras roscadas y espárragos de acero al carbono e inoxidable para unir bridas, recipientes a presión, válvulas u otros accesorios. Esta especificación tiene diferentes grados que son B7, B8 Clase 1, B8M Clase 1, B8 Clase 2 y B8M Clase 2. Los que mejores propiedades de resistencia tienen son del grado B7, aunque estas propiedades varían en función de la longitud del perno como se puede ver en la Figura 2. Concretamente el grado B7 está destinado a aplicaciones de construcción de petróleo y productos químicos.

Grado	Tamaño	Resistencia a la tracción, ksi, min	Límite elástico, ksi, min
B7	Hasta 2-1/2	125	105
	2-5/8 - 4	115	95
	4-1/8 - 7	100	75

*Figura 2: Propiedades de resistencia del acero SA-193 B7 en función del tamaño*

Los ksi de la tabla son kilo libras por pulgada cuadrada. La transformación a MPa es que 1 ksi son 6,89 MPa.

Para las perchas redondas del tanque, el material será el acero SS-304L. El acero 304 es un acero inoxidable austenítico. El acero 304L se prefiere en aplicaciones de soldadura para así excluir la formación de carburos de cromo cuando se enfría la zona afectada por el calor de la soldadura. Las propiedades más significativas del SS-304L son un límite elástico de 170 MPa y una tensión de rotura de 485 MPa.

## **8. BASES DE CÁLCULO**

En este apartado se van a detallar cuales son los bases de cálculo a partir de las cuales se realiza el diseño y el cálculo estructural del tanque. En cuanto al diseño, este se hará siguiendo el código de diseño API 650. Mientras que el cálculo estructural del tanque se hace mediante el cálculo por elementos finitos y se realizan las comprobaciones de fallo elástico según el criterio de Von Mises.

### **8.1 API 650**

Las plantas de producción continuas como una industria petroquímica necesitan lugares donde almacenar productos para, o bien usar posteriormente, o bien transportarlos más adelante, etc. Cuando lo que se quiere almacenar son líquidos a baja presión, se usan tanques de almacenamiento. Estos son tanques cilíndricos verticales con fondo plano. Se caracterizan por permitir almacenamiento de grandes cantidades de productos a un bajo coste. La única limitación es que se pueden utilizar a presión atmosférica o a presiones internas que sean pequeñas.

Hay muchos códigos que se pueden aplicar para diseñar los tanques de almacenamiento. Uno de los más utilizados es el estándar API 650. Se trata de un código de diseño del Instituto Americano del Petróleo que persigue facilitar el diseño de tanques verticales sobre el suelo de fabricación soldada, por medio de seguir sus diferentes secciones que asegurarán que el tanque cumpla con las normas de seguridad necesarias.

El alcance del API 650 se limita a los tanques que almacenan fluidos en estado líquido, que operan a presión atmosférica o presiones internas menores de 18 kPa y que funcionan con temperaturas inferiores a 93 °C.

Cuando, por la naturaleza del fluido, se requiere que los tanques de almacenamiento funcionen con más de 18 kPa de presiones internas, se utilizan el estándar API 620. En el caso del tanque de este trabajo, se utiliza el API 650 debido a que, tal y como indica el cliente, la presión de diseño es la atmosférica y el código de diseño a seguir es este.

Cuando hay necesidad de almacenar sustancias para poder disponer de ellas en un futuro cercano, el almacenamiento de ellas se realiza según el estado de lo que se almacena:

- Para gases y líquidos con presiones elevadas se utilizan recipientes sometidos a presión. Este elemento suele tener la forma que se puede observar en la Figura 3.



*Figura 3: Ejemplo de recipiente sometido a presión*

- Para sólidos se utilizan lo que se conoce como silos. Un ejemplo de estos se puede ver en la Figura 4.





*Figura 4: Ejemplo de silos*

- Para líquidos que están sometidos a bajas presiones se utilizan tanques de almacenamiento. En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de estos.



*Figura 5: Ejemplo de tanques de almacenamiento*

Estas distintas formas de almacenamiento son muy utilizadas en diferentes tipos de industrias para almacenar productos temporalmente. El almacenamiento es algo de vital importancia en distintos tipos de industria ya que sirve como pulmón entre producción y

transporte y así soportar las variaciones de consumo. Además, forman parte de operaciones como el tratamiento del producto.

De las 3 clases de almacenar, los tanques de almacenamiento son los más utilizados. Estos son utilizados para almacenar productos distintos como petróleo y los derivados de este, propano, butano, gas licuado de petróleo etc.

Los tanques de almacenamiento son tanques cilíndricos de fondo plano y permiten almacenar grandes cantidades de producto a bajo coste, y están diseñados para ser usados a presión atmosférica o presiones internas pequeñas.

Hay diferentes códigos de diseño para tanques de almacenamiento. Y suele ser el cliente el que establece el código de diseño que se debe aplicar al tanque. Los más importantes son: API 650, API 620, ASME ANSI B96.1, AWWA 1000, API 12D y API 12F.

El código de diseño requerido para el tanque que establece el cliente es el API 650. En el API 650 se diseña el tanque para soportar una presión atmosférica, o presión inferior a 18 kPa, o presiones que no excedan el peso del techo por unidad de área. Y soportar temperaturas de operación no superiores a 93°C (aunque se pueda llegar a los 260°C siguiendo ciertos requerimientos adicionales).

Este código cubre los requisitos mínimos para el diseño, la fabricación, la instalación, los materiales y la inspección de tanques cilíndricos verticales, que no vayan refrigerados, con techo abierto o cerrado, que se fabriquen con chapas de acero soldadas.

El API 650 no se basa en tamaños estándar si no que permite al que diseña el tanque seleccionar el tamaño que más se ajuste a la aplicación.

### **8.1.1 Aplicación del API 650 en el tanque**

Los aspectos del API 650 que han sido analizados, y se calculan en los anexos, se exponen a continuación.

#### Diseño del suelo

Una vez tomados en cuenta los datos requeridos por el cliente, lo primero que se analiza del API 650 es el diseño del suelo. El suelo del tanque de almacenamiento es el plato base, es decir, la parte inferior del tanque que se une con la virola. Se trata de una chapa circular y maciza. El diámetro de este queda definido por los datos del cliente, al igual que en general toda la geometría del tanque. Lo que implica el código de diseño es el espesor. El API 650 detalla el cálculo del espesor mínimo del suelo en función de la tolerancia de corrosión del suelo.

#### Diseño de la virola

Lo siguiente que se diseña con el API 650 es la virola. La virola es la chapa redondeada que une el suelo con el techo del tanque de almacenamiento. Por tanto, es la chapa de metal más grande del tanque. Igual que para el suelo, el diseño implica el cálculo del espesor mínimo de la virola. Para determinarlo, se hará se calculan 3 valores distintos y se tomará como espesor mínimo el mayor de los 3.

La primera forma de calcularlo está relacionada con el diámetro del tanque. La segunda implica el cálculo para los 3 anillos que conforman la virola. Se calcula el espesor mínimo de la virola de cada banda en función del diámetro del tanque, el nivel de líquido, la tolerancia de corrosión de la virola y la tensión admisible para las condiciones de diseño. Y, por último, la tercera forma de calcularlo implica igualmente los 3 anillos y es el espesor de virola de prueba hidrostática. Este se calcula en función del diámetro del

tanque, el nivel de líquido y la tensión admisible para la prueba hidrostática. El mayor de estos valores es el espesor mínimo de la virola.

#### Diseño del techo

El tercer punto que se diseña con el API 650 es el techo. Igualmente se busca determinar el espesor mínimo del techo. Para hacerlo en primer lugar se filtra por el tipo de techo. Y al igual que para la virola, el espesor mínimo del techo será el mayor de 3 valores distintos. Uno de ellos es un valor fijo de 5 milímetros (es decir, el techo no puede tener un espesor menor de 5 milímetros). El segundo valor depende del radio del techo, de la tolerancia de corrosión del techo y de una combinación de cargas que tiene en cuenta la carga de nieve equilibrada. El tercer valor depende del radio del techo, de la tolerancia de corrosión del techo y de una combinación de cargas que tiene en cuenta la carga de nieve desequilibrada. El mayor de estos 3 valores es el espesor mínimo del techo.

#### Prueba de rigidez de la virola

El siguiente y cuarto punto consiste en la prueba de rigidez de la virola. En este, se determina si la virola es rígida por sí sola o si no. En caso de que no lo sea habría que añadir al tanque una viga rompevientos intermedia. Para comprobar esto, se deben calcular 2 cosas. Una es la altura máxima de la virola no rigidizada, que depende de el espesor de virola, el diámetro nominal del tanque y la velocidad de diseño del viento. Por otro lado, se calcula cada 1 de los anchos transpuestos de cada tramo o anillo de virola que depende del ancho del tramo, del espesor nominal del tramo de virola más delgado y del espesor nominal del tramo de virola que se está calculando. De la suma de estos se obtiene la altura de la virola transformada. Si la altura máxima de la virola no rigidizada es mayor que la altura de la virola transformada, el tanque no necesita viga rompevientos intermedia. En caso contrario sí la necesitaría.

### Necesidad de anclaje según carga de viento

El siguiente, el punto 5, consiste en determinar si el tanque requiere o no anclajes según la carga de viento. En este punto se calculan las cargas de viento que soportará el tanque y en función de ellas se determinará si requiere anclaje. Para hacerlo, el API 650 expone 3 criterios que se han de cumplir para que el tanque no necesite anclaje.

$$1- 0,6 \times M_W + M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$2- M_W + F_P \times M_{PI} < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$$

$$3- M_{WS} + F_P \times M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

Donde:

- $M_{PI}$ , que es el momento de la unión virola-suelo debido a la presión interna de diseño
- $M_W$ , que es el momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento vertical y horizontal
- $M_{DL}$ , que es el momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la virola y el techo
- $M_F$ , que es el momento de la unión virola-suelo debido al peso del líquido
- $M_{DLR}$ , que es el momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la placa del techo más cualquier estructura adjunta
- $M_{WS}$ , que es el momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento horizontal

### Espacio libre de protección por olas

El sexto y último punto que se analiza en el API 650 es el espacio libre que se ha de dejar hasta el techo para proteger frente a posibles olas. Esto se hace porque en el caso

de que se produzcan olas por el movimiento del líquido en el interior del tanque, es importante que estas no lleguen al techo, porque en caso de hacerlo, la presión que ejercería el líquido sobre el techo lo rompería. El espacio libre se calcula en función del diámetro del tanque y de otro parámetro que depende del tipo del tanque.

## **8.2 Cálculo por elementos finitos**

Como se ha explicado anteriormente, son 4 las situaciones en las que se hace un cálculo estructural del tanque: la situación natural del tanque en funcionamiento en la que se encontrará la mayor parte de su vida útil; el izado vertical del tanque; el izado horizontal del tanque; y el apoyo en cunas del tanque en el camión que lo desplazará. Para realizar el cálculo estructural de cada 1 de los casos, se utiliza lo que se conoce como método de los elementos finitos (FEM en inglés). Este se trata de un método numérico que permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas con un problema físico sobre geometrías complejas. Este método está pensado para ser usado por ordenadores.

El método de los elementos finitos logra obtener soluciones numéricas aproximadas sobre una estructura dividiéndola en un gran número de elementos finitos, que son subdominios no intersectantes entre sí. Esta división se conoce como discretización. Dentro de cada elemento hay una serie de puntos representativos conocidos como “nodos”. 2 nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, y además, 1 nodo que se encuentra en la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios. El conjunto de nodos y sus relaciones de adyacencia o conectividad forma lo que se conoce como malla.

Los cálculos se realizan sobre esta malla y las relaciones de conectividad se relacionan con las variables definidas en cada nodo. Las relaciones entre el valor de una determinada variable entre nodos se pueden escribir como un sistema de ecuaciones lineales. La matriz de este sistema de ecuaciones se conoce como matriz de rigidez del

sistema. El número de ecuaciones que tendrá este sistema es proporcional a la cantidad de nodos establecidos.

En el caso de un cálculo estructural como este, el método de los elementos finitos sirve para calcular desplazamientos y, tras esto, por medio de relaciones cinemáticas, calcular tensiones.

### **8.2.1 Aplicación del cálculo por elementos finitos en el tanque mediante el software SolidWorks Simulation**

Como se ha mencionado, este método es usado por ordenador. El software que se ha utilizado para hacer el cálculo estructural de los 4 casos por medio del método de los elementos finitos es SolidWorks Simulation. Este se trata de un sistema de análisis de diseño que está completamente integrado con SolidWorks. De esta manera se puede realizar el diseño en SolidWorks y hacer el cálculo estructural con SolidWorks Simulation.

SolidWorks Simulation no está limitado a este tipo de cálculo, además del estudio estático es capaz de resolver análisis modales, estudios térmicos, estudios no lineales, etc. El estudio estático o de tensión calcula desplazamientos y tensiones. Cuando se aplican cargas a un sólido, este se deforma y el efecto de estas cargas se transmite a través del sólido. Lo que realiza SolidWorks Simulation es inducir fuerzas internas y reacciones desde las cargas externas que tenga el sólido para renderizarlo a un estado de equilibrio.

Para poder calcular este estudio hay que definir las condiciones. En primer lugar, se crea el modelo del tanque y una vez echo esto se definen sus materiales, las conexiones entre elementos, las sujeciones externas, las cargas externas y el mallado. Tras esto, SolidWorks Simulation dispone de toda la información necesaria para el cálculo de

desplazamientos y deformaciones en cada 1 de los nodos. A continuación, se detallan las condiciones a definir.

### Modelado

Para hacer el modelado, se van creando piezas a partir del croquis de entidades geométricas que son la base de operaciones de sólidos como extrusiones, revoluciones o cortes. En cuanto al modelado del tanque, no se modelará por completo si no que se obviarán las tubuladuras. Los elementos que sí se modelan son los siguientes:

- La tubuladura y el tubo más grandes del tanque con su brida.
- Los 2 trunios de izado.
- La orejeta.
- El techo, la virola y el suelo.
- Y el angular de coronación, que es el saliente que está en la unión del techo con la virola.

Esta decisión se fundamenta en 2 motivos:

- El primero es que las tubuladuras suponen una muy pequeña masa del tanque si se compara con la virola, techo, etc., por tanto, la tensión que se va a generar en estos tubos va a ser pequeña.
- El segundo tiene que ver con el mallado. El cálculo por elementos finitos, como se verá más adelante en el mallado, divide toda la pieza en pequeños triángulos y calcula la tensión y deformación en cada 1 de ellos. Estos triángulos no deben estar en la unión entre 2 objetos de la pieza que estén unidos. Es por esto que, si se ponen todas las tubuladuras, el mallado que requeriría la pieza sería de triángulos exageradamente pequeños, lo cual provocaría horas e incluso días de cálculo para el ordenador para cada 1 de los casos de los anexos.



Para el modelado de las cunas, en el caso del tanque apoyado en cunas, las medidas de las cunas son estándar y son facilitadas por un proveedor de MSM Alva.

### Materiales

Se deben definir todas las propiedades necesarias para un cálculo estructural estático de los materiales que conforman el tanque. En este aspecto se dispone de la ayuda del software ya que te indica cuáles son las propiedades obligatorias. Los materiales se pueden crear de cero o bien utilizar los ya disponibles de la biblioteca de SolidWorks Simulation.

Una vez hecho se tienen los materiales se debe definir cada elemento del tanque con que material se corresponde. Tal y como se ha especificado anteriormente, hay muchos elementos del tanque que se han modelado. De manera que los únicos materiales de los que están formados los elementos son 2.

Uno de ellos es el acero S275 JR del angular de coronación. Este, dado que es uno de los materiales más utilizados para estructuras, aparece en la biblioteca de SolidWorks Simulation.

El otro material es el acero SA-516 Grado 70, del que están formados el resto de los elementos modelados. De este sí que habrá que definir sus propiedades.

En el caso del tanque apoyado en cunas, también es necesario definir el material de las cunas, que son de madera y al igual que el acero S275 JR aparece en la biblioteca de SolidWorks Simulation.

### Conexiones entre elementos

En este punto se define la interacción entre los elementos que están en contacto. En este punto se puede definir como es el contacto entre elementos. Por ejemplo, el

contacto entre 2 elementos que están unidos mediante soldadura se define como unión rígida. Este es el contacto que existe entre todos los componentes del modelo ya que el tanque va completamente soldado.

### Sujeciones y cargas externas

Las sujeciones o restricciones externas, al igual que las cargas externas, son necesarias para definir el entorno sobre el cual está sometido el modelo. Los resultados de tensiones y desplazamientos dependen directamente de estas sujeciones y cargas. Tanto las cargas como las sujeciones se aplican a una determinada geometría del modelo y se ajustarán automáticamente si hay cambios de geometría en el modelo. Los tipos de carga y de sujeciones dependen del tipo de estudio, y se aplicarán en cada caso lo que sea necesario.

En el caso de las sujeciones, por ejemplo, en el caso del tanque en situación natural, se establecerá la cara inferior del suelo como geometría fija, para simular que el tanque está anclado al suelo. De igual forma se hará con la cara inferior de las cunas en el caso del tanque apoyado en cunas. Mientras que para los casos de izado vertical y horizontal no se establecerá ninguna sujeción, ya que se trata de casos en los que el tanque está siendo desplazado.

Por otro lado, en cuanto a cargas externas, se establecerá el peso propio en los 4 casos. Mientras que, en el caso de situación natural del tanque, se añadirá la presión hidrostática del agua actuando sobre el fondo. Y para los casos de izado vertical y horizontal se definirán las presiones que ejercen las cadenas de la grúa sobre los trunios de izado del tanque.

## Mallado

Como se ha explicado anteriormente, el cálculo por elementos finitos se trata de una técnica numérica fiable y muy útil para analizar diseños. Una vez que el modelo está creado y totalmente definido, se divide en pequeñas formas simples (elementos) conectadas en puntos comunes (nodos). Se trata de una red de elementos discretos interconectados que sirve para predecir el comportamiento del modelo mediante combinar la información que se obtiene de todos los elementos de este.

El mallado es un paso muy importante. SolidWorks Simulation dispone de un mallador automático que genera la malla estableciendo un tamaño de elemento, una tolerancia y especificaciones de control de la malla. Este control de malla permite definir diferentes tamaños de elementos.

SolidWorks Simulation estima el tamaño de elemento en función del volumen, el área de superficie y demás detalles geométricos. Es esto un motivo de que el modelo del tanque no sea completo como se ha expuesto anteriormente, ya que geometrías pequeñas supondrían necesidad de una malla con elementos muy pequeños que llevarían a necesitar horas e incluso días para la generación de la malla.

Una vez que se realiza el modelo, se aplican todas las condiciones de contorno y se genera la malla, se pueden obtener los resultados de desplazamientos y tensiones. Cada 1 de los 4 casos sigue el mismo método.

### **8.3 Criterio de Von Mises**

Se conocen como criterios de fallo elástico a los criterios que se usan para determinar los esfuerzos estáticos máximos que se pueden permitir en una estructura. Estos criterios están destinados a conocer si la estructura en cuestión se deformará

plásticamente, al sobrepasar la zona elástica. Por tanto, el hecho de que ocurra el fallo elástico no tiene por qué implicar que la estructura se rompa, sino que se adquiere deformaciones permanentes.

Para materiales dúctiles, que pueden deformarse considerablemente antes de romperse, existen 2 criterios. Uno es el criterio de la máxima tensión cortante y otro es el criterio de la máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises. Para analizar cada 1 de los 4 casos, se utilizará el criterio de Von Mises.

Este criterio establece que una pieza falla elásticamente cuando en alguno de sus puntos, la energía de distorsión por unidad de volumen supera cierto número, Fórmula 1:

$$e_{\text{distorsión}} \geq \frac{\sigma_Y^2}{2 \times E}$$

*Fórmula 1: Criterio de Von Mises para fallo en términos de energía*

Donde:

- $e_{\text{distorsión}}$  es la energía de distorsión o deformación por unidad de volumen, se mide en  $\text{N/m}^3$
- $\sigma_Y$  es la tensión límite elástico del material de la estructura, se mide en  $\text{N/m}^2$
- $E$  es el módulo de elasticidad del material de la estructura, se mide en  $\text{N/m}^2$

En términos de tensión, se puede decir igualmente que una estructura falla cuando en cualquiera de sus puntos, la tensión de Von Mises supera al límite elástico del material de la estructura, Fórmula 2:

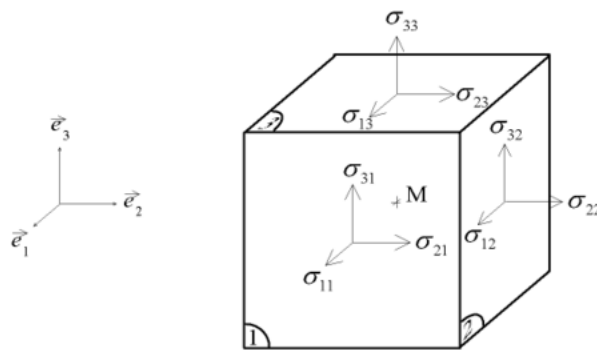
$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

*Fórmula 2: Criterio de Von Mises para fallo en términos de tensión*

Donde:

- $\sigma_{VM}$  es la tensión de Von Mises, una magnitud proporcional a la energía de distorsión, se mide en  $\text{N/m}^2$
- $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son las tensiones principales en el punto a analizar, se miden en  $\text{N/m}^2$
- $\sigma_Y$  es la tensión límite elástico del material de la estructura, se mide en  $\text{N/m}^2$

Las tensiones principales ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ ) en un punto son las tensiones normales en las direcciones principales de ese punto. La máxima de estas tensiones principales es  $\sigma_1$  y es la máxima tensión normal de todas las tensiones normales que se pueden dar cuando se cambia la orientación del plano en ese punto. Y la mínima de las tensiones principales es  $\sigma_3$  y es, igualmente, la mínima tensión normal de todas las que se pueden dar cuando se cambia la orientación del plano en ese punto. El cálculo de las direcciones y tensiones principales es equivalente a realizar la diagonalización del tensor de tensiones en el punto. En la Figura 6 se puede observar una representación gráfica del tensor de tensiones principales:



*Figura 6: Representación gráfica del tensor de tensiones principales*

El cálculo de estas tensiones y direcciones principales en un punto de una pieza se trata de un problema de valores y vectores propios y es equivalente a realizar la diagonalización del tensor de tensiones en ese punto.

### **8.3.1 Aplicación del criterio de Von Mises en el tanque**

El cálculo de tensiones y direcciones principales y, por tanto, también de tensiones de Von Mises lo realiza SolidWorks Simulation en cada 1 de los nodos en los que se ha dividido el tanque. Además, este software permite visualizar unos gráficos de colores con escala en función de la tensión de Von Mises, lo cual permite en un vistazo saber cuáles son las zonas que han de soportar una mayor tensión.

Tras esto queda comprobar si las mayores tensiones de Von Mises en los diferentes materiales, superan o no el límite elástico de esos materiales. Si no lo superan, tal y como establece el criterio de Von Mises, el tanque no se deformará plásticamente. Además, se puede calcular el factor de seguridad de la estructura, haciendo el cociente entre el límite elástico y la máxima tensión de Von Mises:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}}$$

## 9. RESULTADOS FINALES

### 9.1 Resultados del diseño del tanque según API 650

El desarrollo de los cálculos para el diseño del tanque según API 650, se puede encontrar en el Punto 1.2 del Anexo 1: "Diseño mediante estándar API 650". Los resultados de este diseño son los siguientes:

#### Diseño del suelo

Espesor mínimo suelo: 9 mm

**Espesor adoptado suelo: 10 mm**

#### Diseño de la virola

Espesor mínimo virola: 5,75 mm

**Espesor adoptado virola: 6,00 mm**

#### Diseño del techo

Espesor mínimo techo: 5,00 mm

**Espesor adoptado techo: 8,00 mm**

#### Prueba de rigidez de la virola

Altura de la virola transformada ( $\Sigma W_{tr}$ ) = 6,8 m < Altura máxima de la virola no rigidizada ( $H_1$ ) = 61,79 m. Por tanto, **no es necesaria una viga rompevientos intermedia.**

#### Necesidad de anclaje según carga de viento

Comprobación de los 3 requisitos para que el tanque no necesite anclaje:

$$1- 0,6 \times M_W + M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$121,42 \text{ m x kN} < 132,81 \text{ m x kN}$$

Si cumple

$$2- M_W + F_P \times M_{PI} < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$$

$$202,37 \text{ m x kN} < 379,09 \text{ m x kN}$$

Si cumple

$$3- M_{WS} + F_P \times M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$149,61 \text{ m x kN} < 132,81 \text{ m x kN}$$

No cumple

Dado que es necesario que se cumplan cada 1 de los 3 criterios y el tercero no se cumple, **el tanque requiere anclajes. Se ponen 8 sillas de anclaje y taco químico.**

El anclaje químico o taco químico se utiliza fundamentalmente para la fijación de placas metálicas a un hormigón base, utilizando una varilla metálica y una resina que actúa como pegamento para la unión entre hormigón y varilla. La ventaja principal de este tipo de anclaje es que es capaz de soportar cargas más altas que los anclajes mecánicos.

#### Espacio libre de protección por olas

**El espacio libre mínimo que se debe dejar por encima del nivel de líquido es de 361 milímetros.**

Todos estos aspectos son considerados en el plano del tanque, concretamente en la Hoja 1 del Plano 2: "Tanque de almacenamiento" del documento Planos.



## **9.2 Resultados del cálculo estructural del tanque**

El cálculo estructural se ha realizado, tal y como se detalla anteriormente, con SolidWorks Simulation. Se ha realizado el cálculo estructural para las 4 situaciones anteriormente expuestas (las que se consideran críticas o más importantes): la situación natural del tanque, el izado del tanque en posición vertical, el izado del tanque en posición horizontal y el apoyo del tanque en cunas.

Las condiciones de contorno para cada situación y el modo en que se aplican están detalladas en los anexos. Aun así en este apartado se van a nombrar cuales son en cada caso.

En la situación natural del tanque, se tiene como sujeción externa o apoyo, únicamente el anclaje del suelo del tanque al suelo. En cuanto a cargas externas, en esta situación están el peso propio del tanque debido a la gravedad y la presión hidrostática del agua sobre el fondo.

Para la situación del izado vertical del tanque, no hay ninguna sujeción externa, el tanque está completamente en el aire. En cuanto a cargas externas, en esta situación están el peso propio del tanque debido a la gravedad y las 2 presiones que ejercen las cadenas de la grúa sobre los trunios de izado.

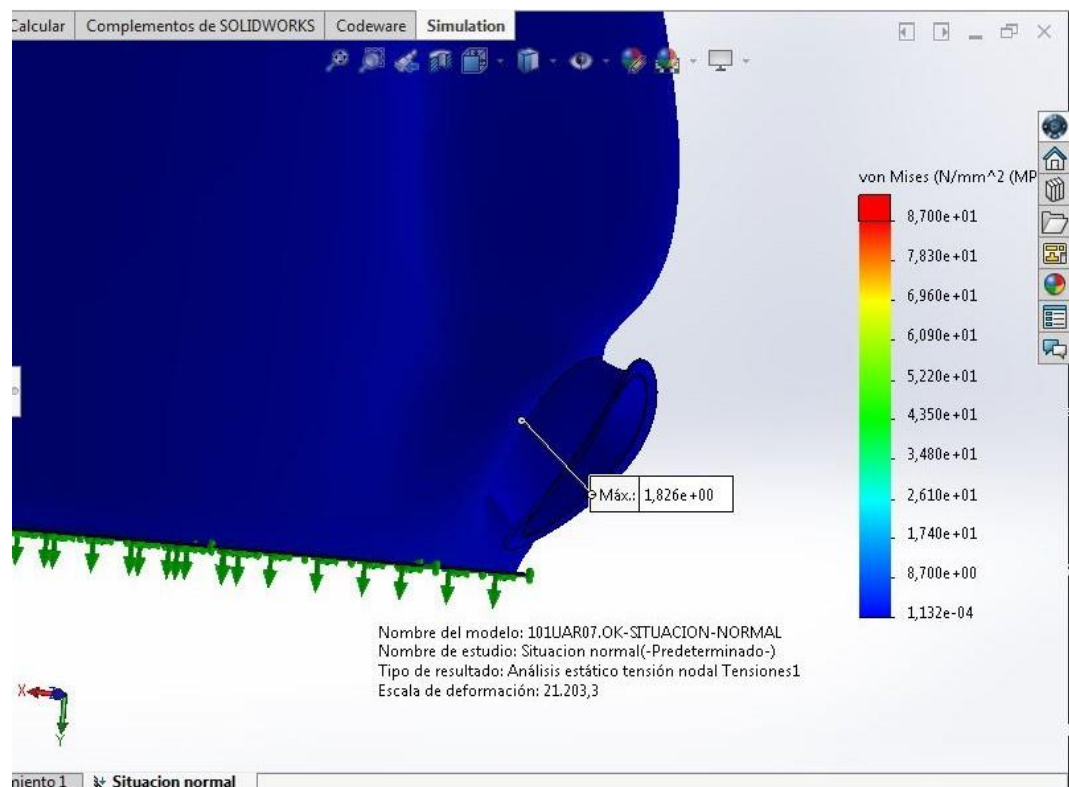
En la situación del izado horizontal del tanque, al igual que en el izado vertical, no hay ninguna sujeción externa. Mientras que, en cuanto a cargas externas, en esta situación están el peso propio del tanque debido a la gravedad y las 3 presiones que ejercen las cadenas de la grúa (2 sobre los trunios de izado y 1 sobre la orejeta).

Para la situación del apoyo del tanque en cunas, como sujeción externa se tiene el anclaje de las 2 cunas por su cara inferior al camión. En cuanto a cargas externas, en esta situación está únicamente el peso propio del tanque debido a la gravedad.

Tras definir totalmente cada 1 de los 4 casos se determinan unos gráficos que muestran la distribución de tensiones y desplazamientos alrededor del tanque. Además, también se determinan los desplazamientos y las tensiones máximos, y estas últimas permiten la comprobación de fallo elástico según el criterio de Von Mises, y en caso de cumplir, el factor de seguridad hasta deformación plástica.

### 9.2.1 Situación natural del tanque

Distribución de tensiones alrededor del tanque:



*Figura 7: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural*

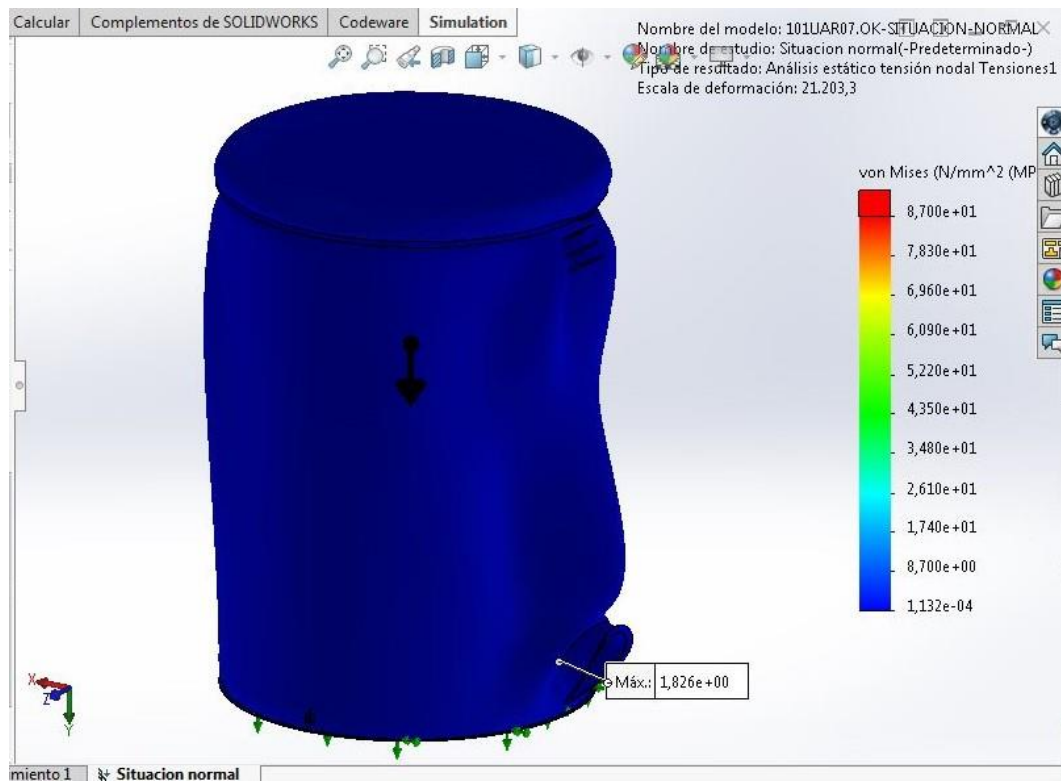


Figura 8: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural

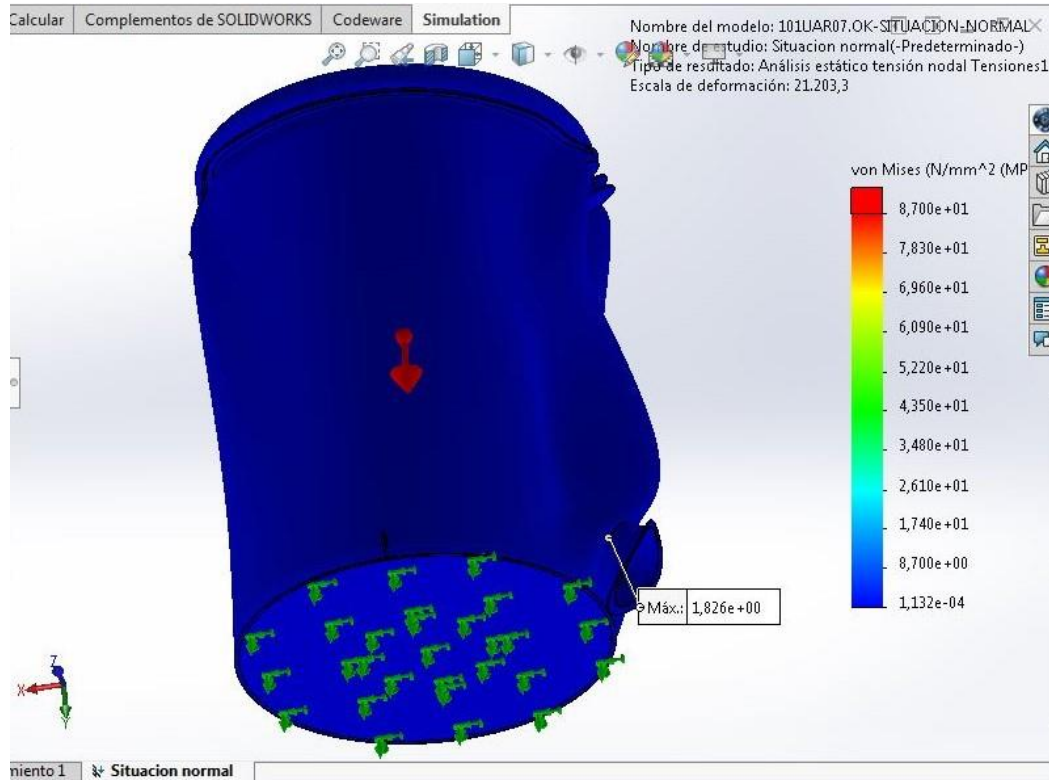


Figura 9: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural

### Comprobación de fallo elástico según el criterio de Von Mises:

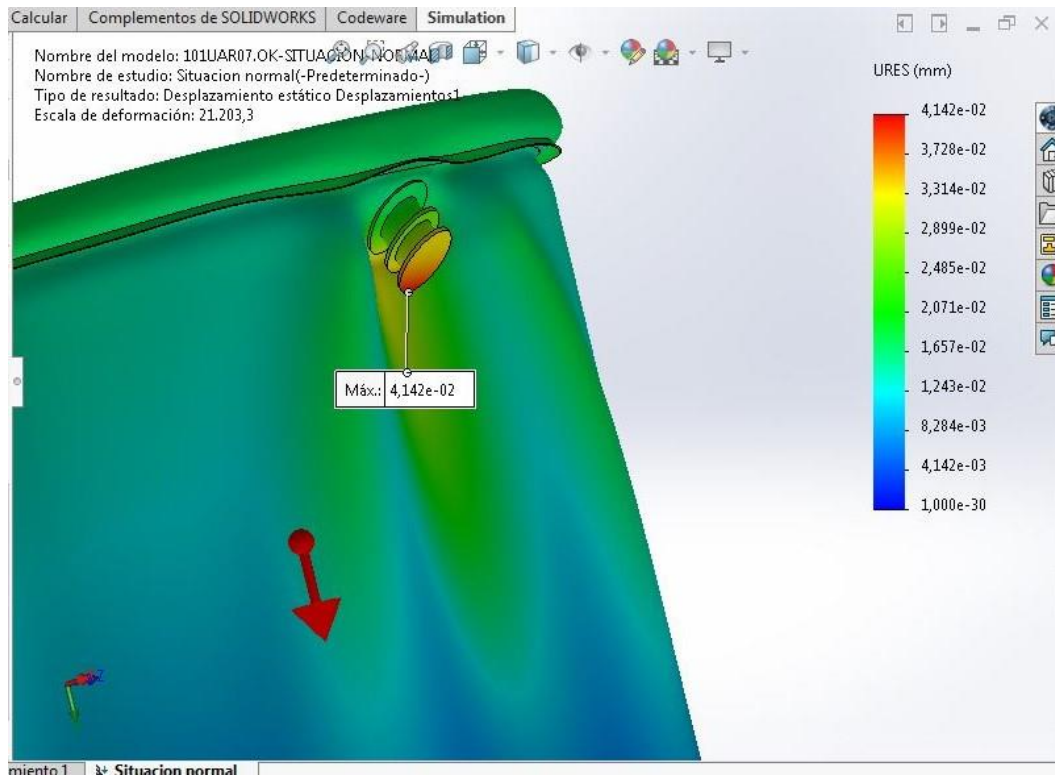
La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 1,826 MPa y como se puede apreciar en la Figura 7, se da cerca de uno de los puntos de unión entre virola y tubo. El material en este punto es el acero SA-516 Grado 70, que tiene un límite elástico de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 1,826 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

El tanque en su situación natural no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. Y tiene un factor de seguridad de:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{1,826 \text{ MPa}} = 142,39$$

### Distribución de desplazamientos alrededor del tanque:



*Figura 10: Desplazamientos del tanque en situación natural*

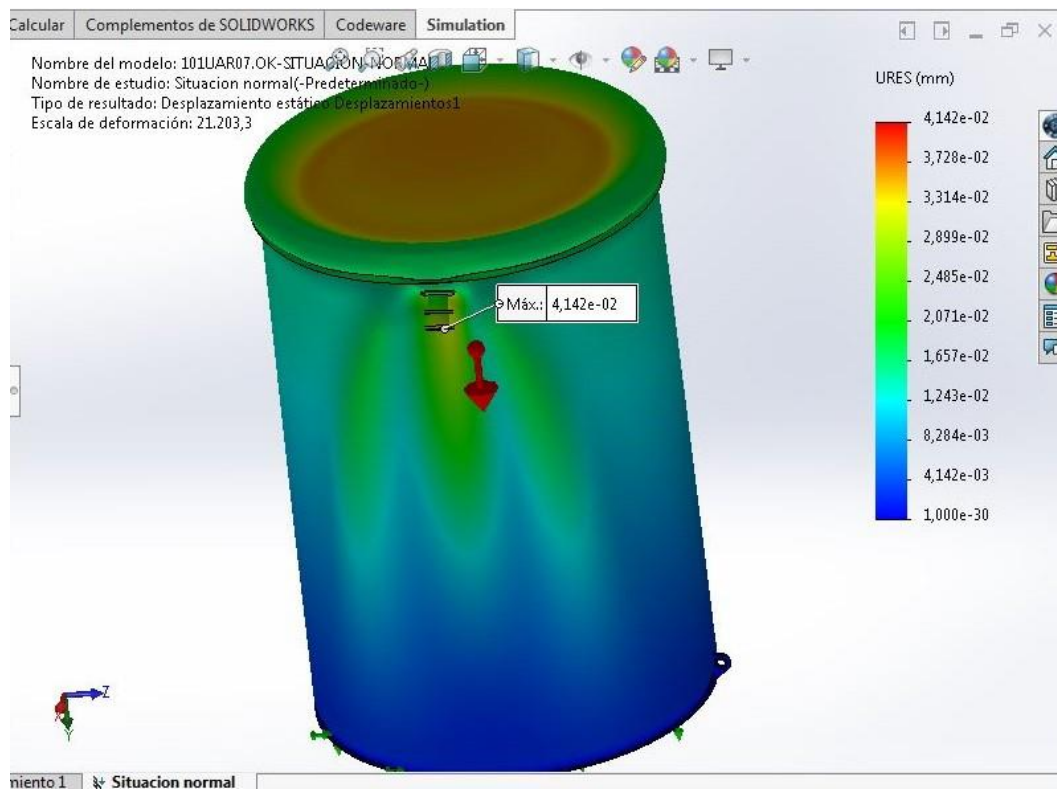


Figura 11: Desplazamientos del tanque en situación natural

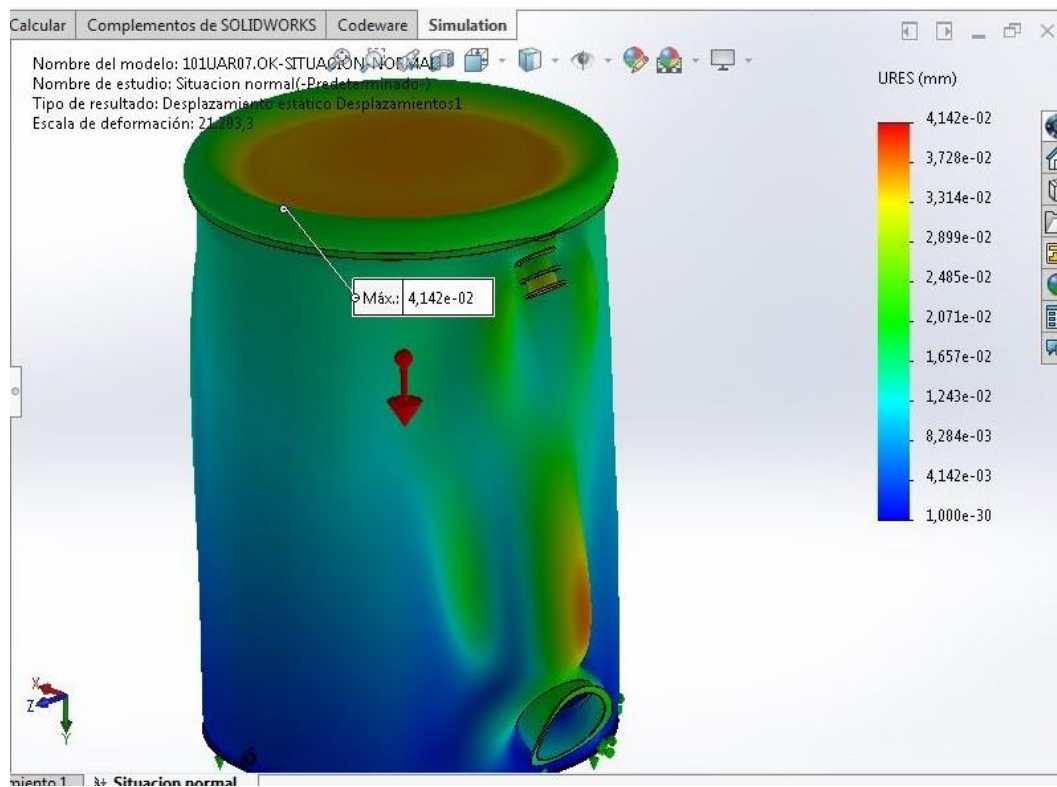
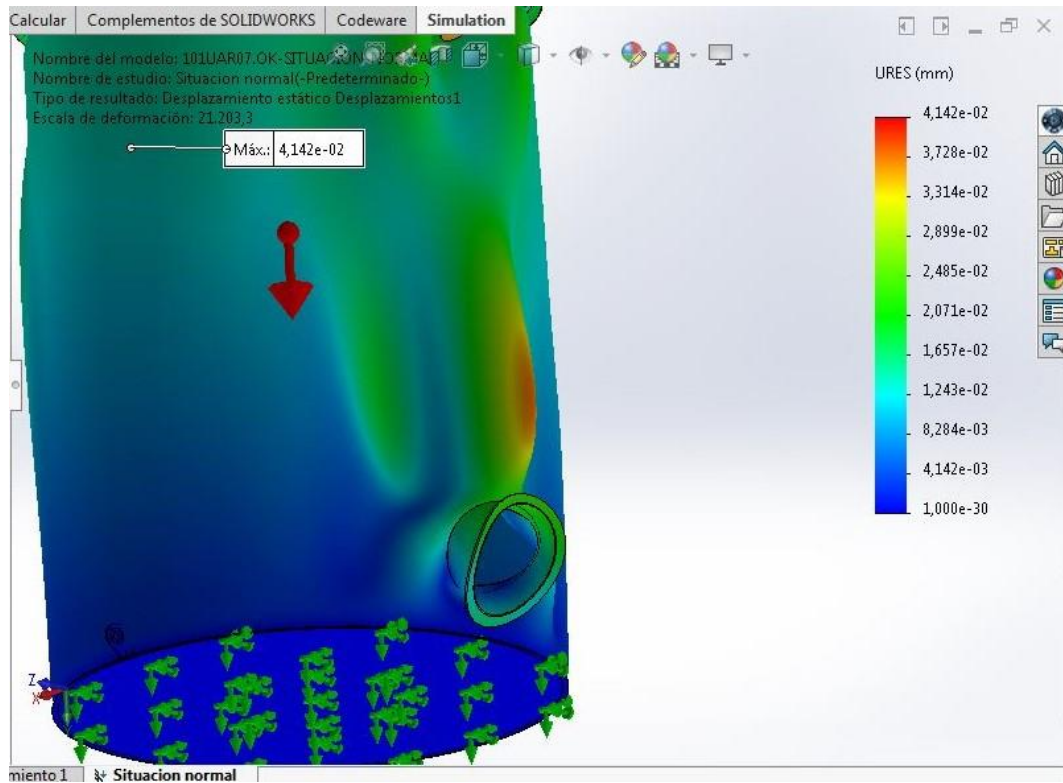


Figura 12: Desplazamientos del tanque en situación natural



*Figura 13: Desplazamientos del tanque en situación natural*

En la Figura 10 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en la parte inferior de la chapa de uno de los trunios de izado y es de  $4,142 \times 10^{-2}$  mm. Además, de las Figuras 11, 12 y 13 también se pueden sacar conclusiones. En la situación natural del tanque:

- Sufren mayores desplazamientos los puntos superiores de la virola que los inferiores
- El techo sufre de los desplazamientos más grandes del tanque. En cambio, el suelo, al estar fijado no sufre desplazamientos.
- El tubo sufre más desplazamiento que la zona de la virola donde se encuentra y además provoca en la parte de la virola que tiene justo encima, un desplazamiento aún superior

El tanque en su situación natural tiene unos desplazamientos inapreciables.



## 9.2.2 Izado del tanque en posición vertical

Distribución de tensiones alrededor del tanque:

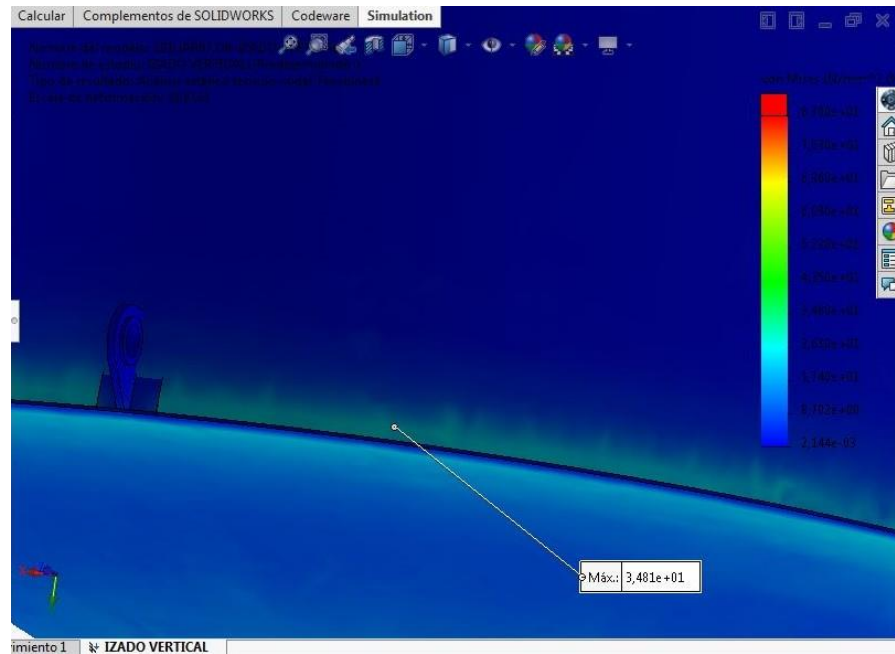


Figura 14: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical

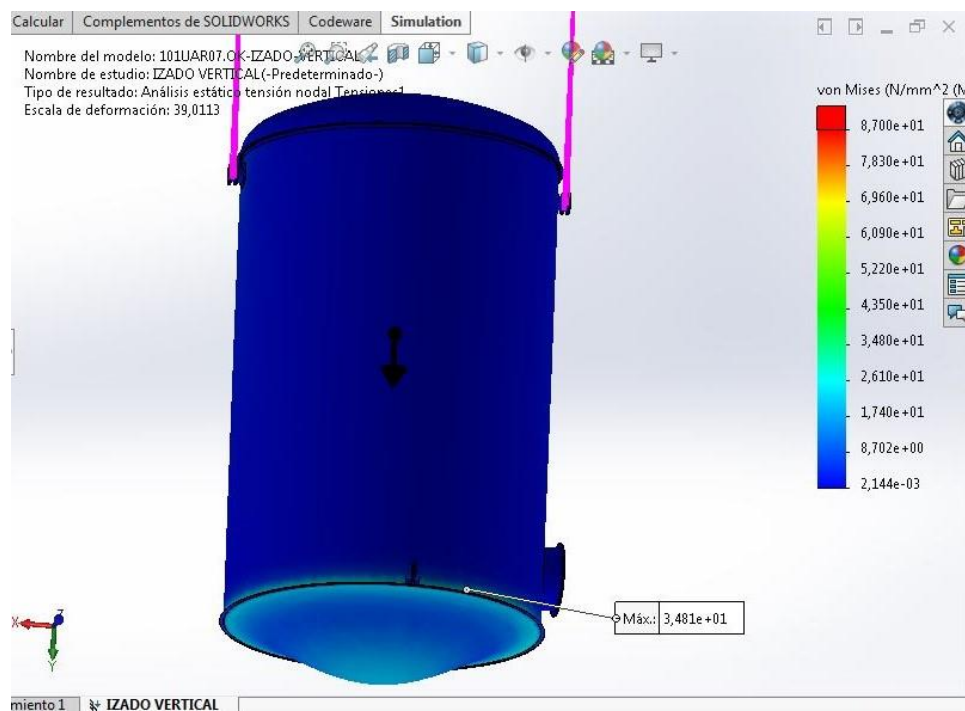
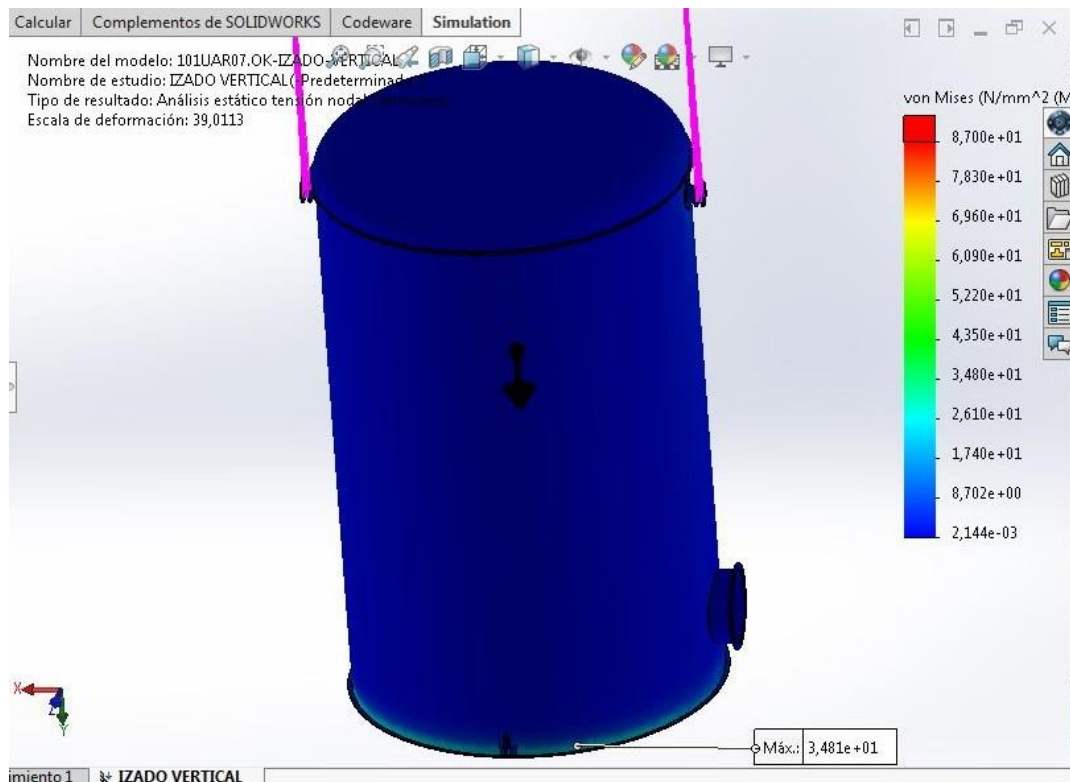


Figura 15: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical



*Figura 16: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical*

En la Figura 14 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la parte inferior de la virola muy cerca de la chapa del suelo y es de 34,81 MPa. Además, de las Figuras 14, 15 y 16 también se pueden sacar conclusiones. Para el caso de izado vertical del tanque:

- Los puntos que sufren mayores tensiones de todo el tanque son los puntos de la parte de la virola más inferior (más cercana al suelo). Esta área soporta tensiones en torno a los 34 MPa.
- La parte más externa del suelo junto con su parte central, sufren tensiones de en torno a 26 MPa.



### Comprobación de fallo elástico según el criterio de Von Mises:

La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 34,81 MPa y el punto en el que se da tiene de material el acero SA-516 Grado 70, que tiene un límite elástico de 260 MPa.

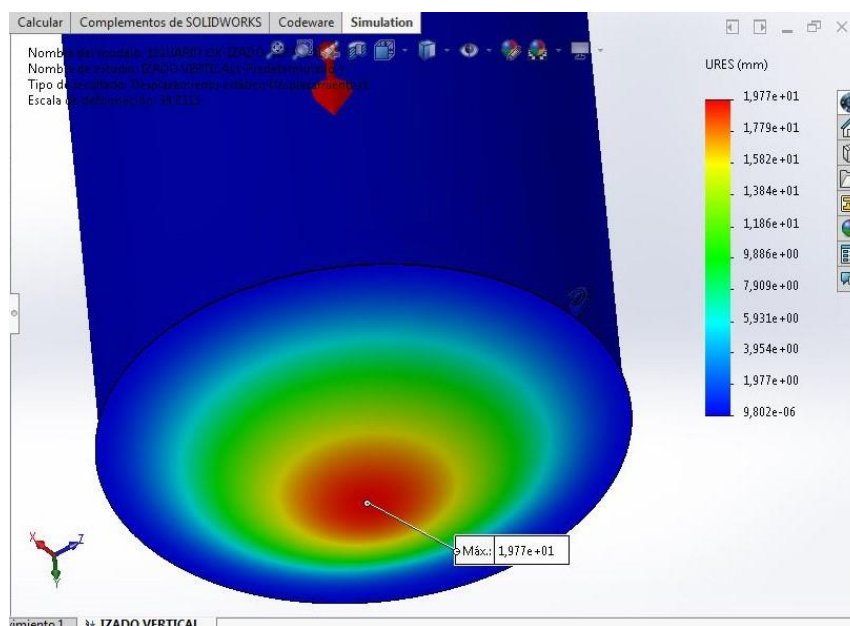
$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 34,81 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

El tanque en el caso de izado vertical no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. Y tiene un factor de seguridad de:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{34,81 \text{ MPa}} = 7,47$$

El factor de seguridad en la situación natural del tanque era de 142,39 por lo que se puede observar que, aunque el tanque durante el izado vertical no se deformará plásticamente sufre mucha mayor tensión en esta situación que en su estado natural.

### Distribución de desplazamientos alrededor del tanque:



*Figura 17: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical*

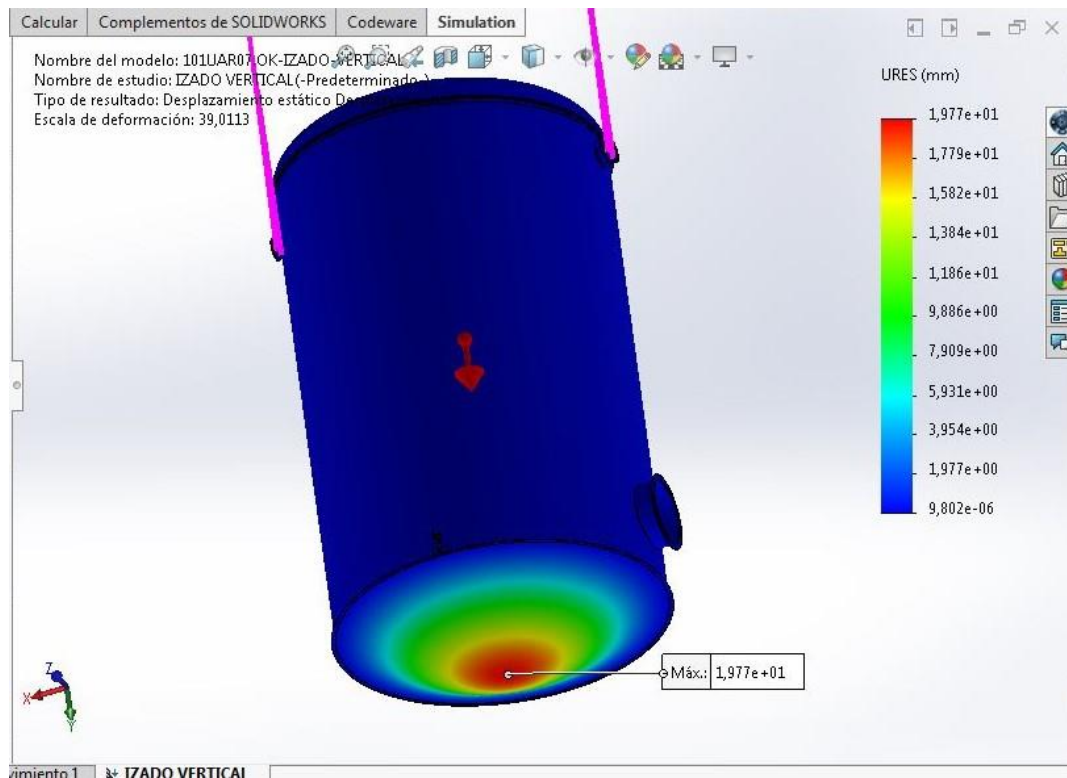


Figura 18: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical

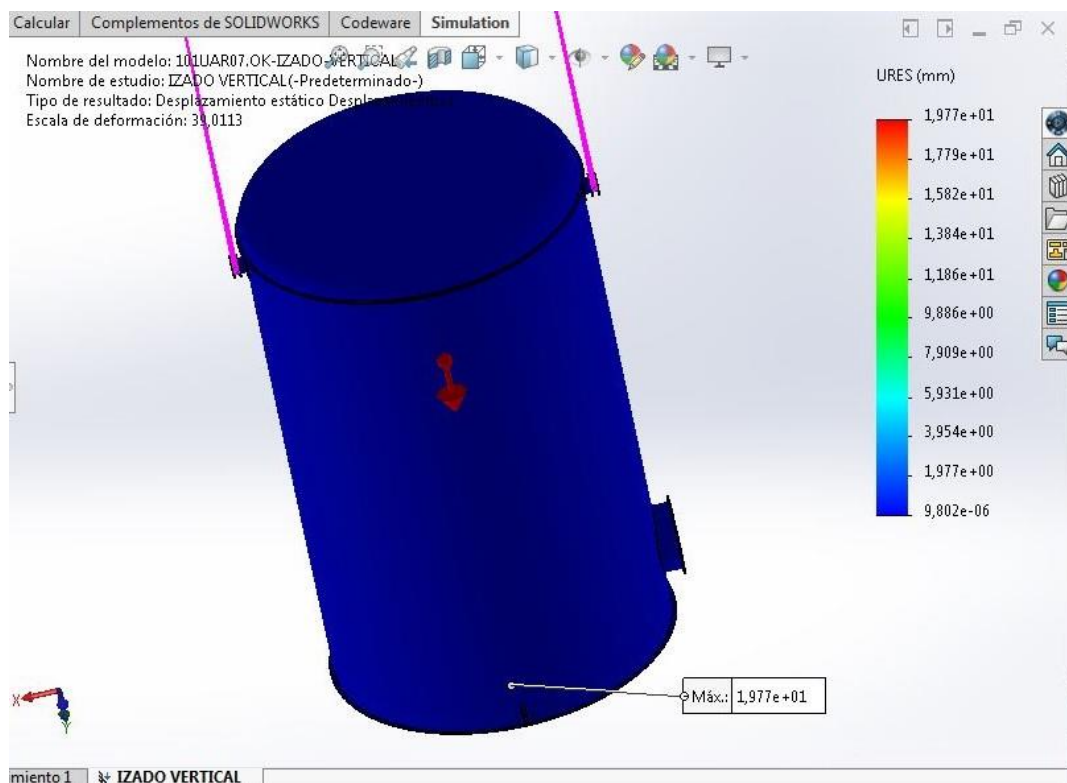


Figura 19: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical

En la Figura 17 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en el centro de la chapa del suelo y es de 19,77 mm. Además, de las Figuras 17, 18 y 19 también se pueden sacar conclusiones. En el izado vertical del tanque:

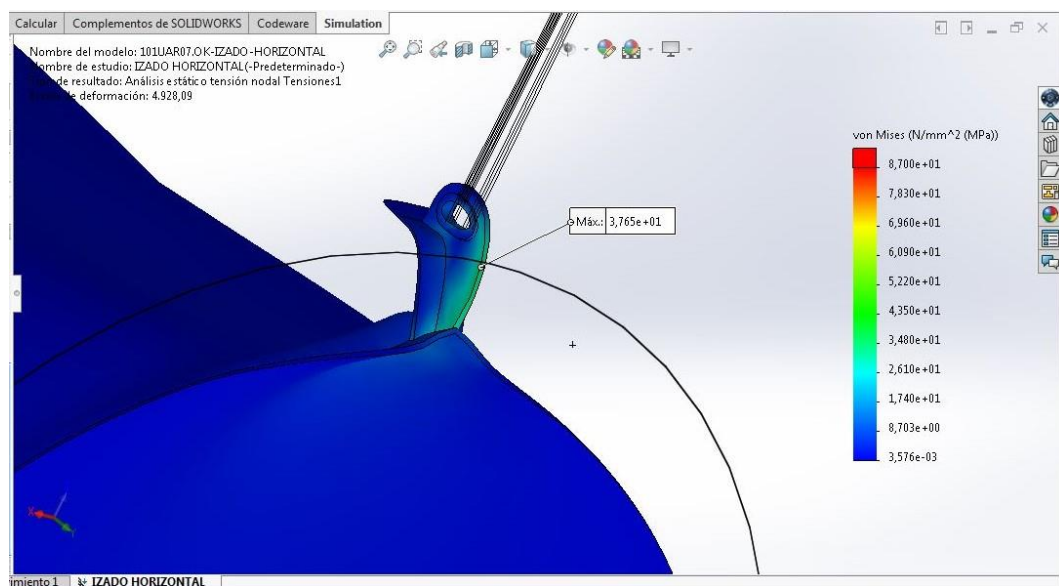
- Tan solo la chapa del suelo es la que sufre desplazamiento
- En la chapa del suelo el desplazamiento es proporcional a la distancia del centro.

Los puntos que se encuentran más cerca del centro de la chapa sufren mayor desplazamiento que los lejanos

En la situación natural del tanque el máximo desplazamiento era de  $4,142 \times 10^{-2}$  mm. En comparación, se desliza mucho más en la situación de izado vertical (19,77 mm), pero se considera apto ya que se trata de un caso que durará unos minutos y que, al no producirse deformación plástica, el tanque recuperará su forma normal.

### 9.2.3 Izado del tanque en posición horizontal

Distribución de tensiones alrededor del tanque:



*Figura 20: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal*

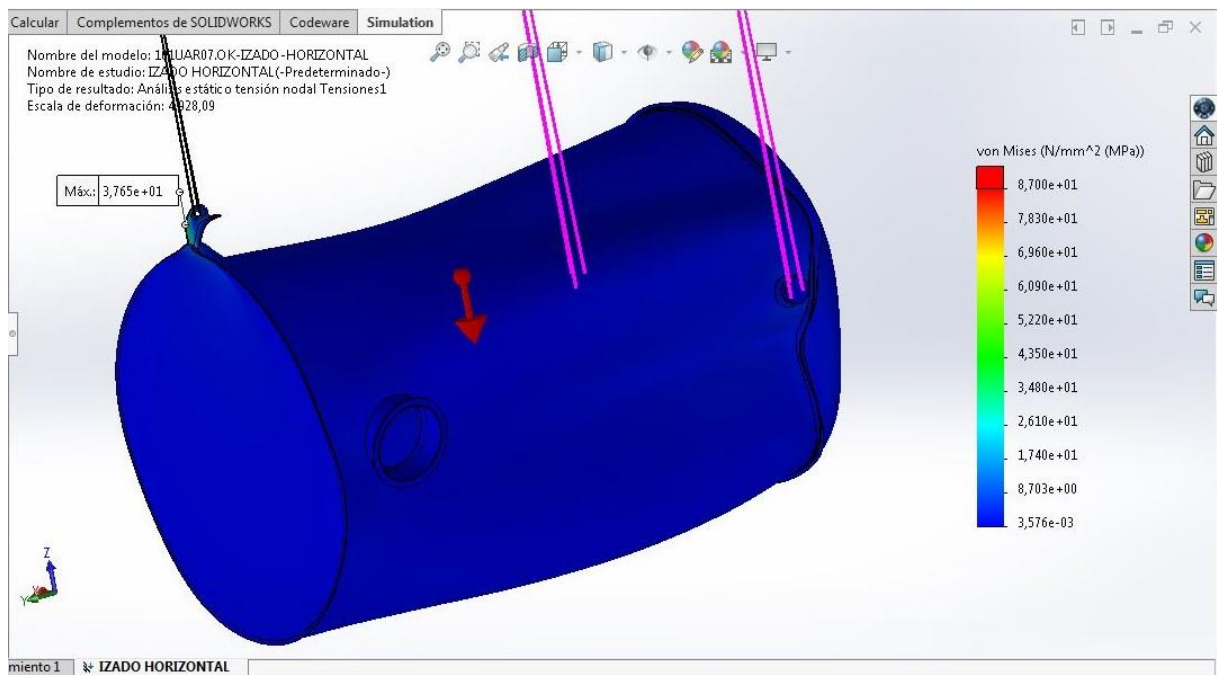


Figura 21: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal

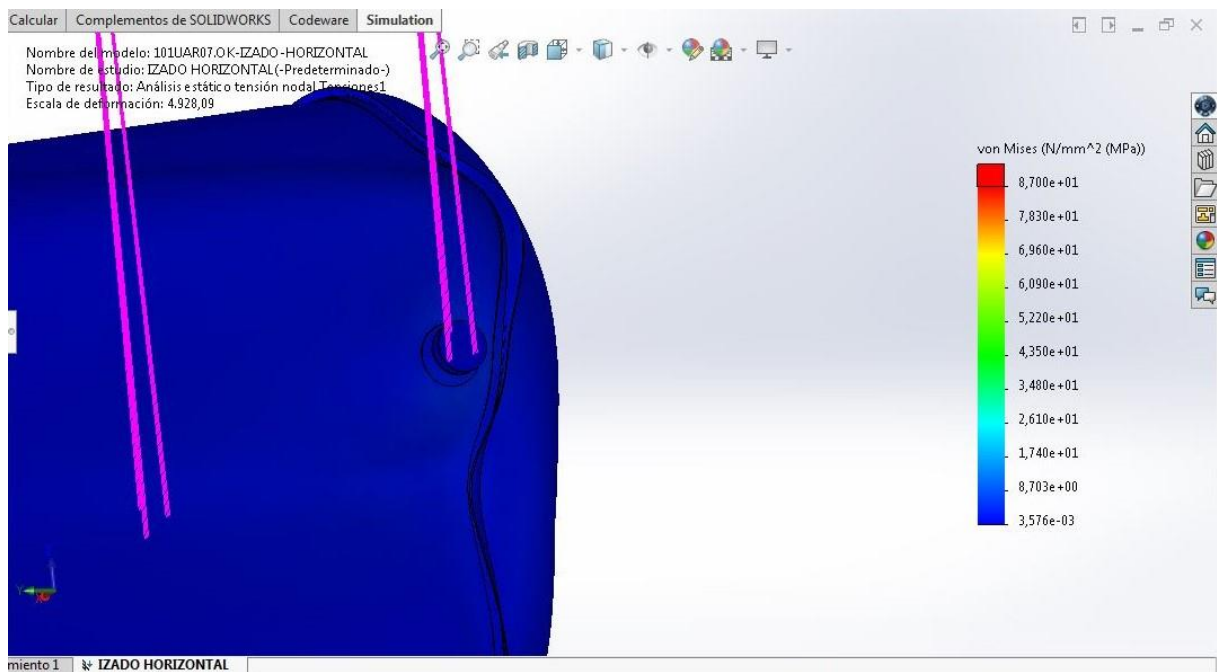


Figura 22: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal

En la Figura 20 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la zona externa de la orejeta y es de 37,65 MPa. Además, se puede apreciar que es en la orejeta donde se dan las tensiones más grandes:

- Los puntos que sufren mayores tensiones de todo el tanque son los puntos externos de la orejeta. Esta área soporta tensiones en torno a los 37 MPa.
- Según se avanza hacia la virola, también se observa que hay puntos de la orejeta que sufren altas tensiones de en torno a 26 MPa.

#### Comprobación de fallo elástico según el criterio de Von Mises:

La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 37,65 MPa y el punto en el que se da tiene de material el acero SA-516 Grado 70, que tiene un límite elástico de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 37,65 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

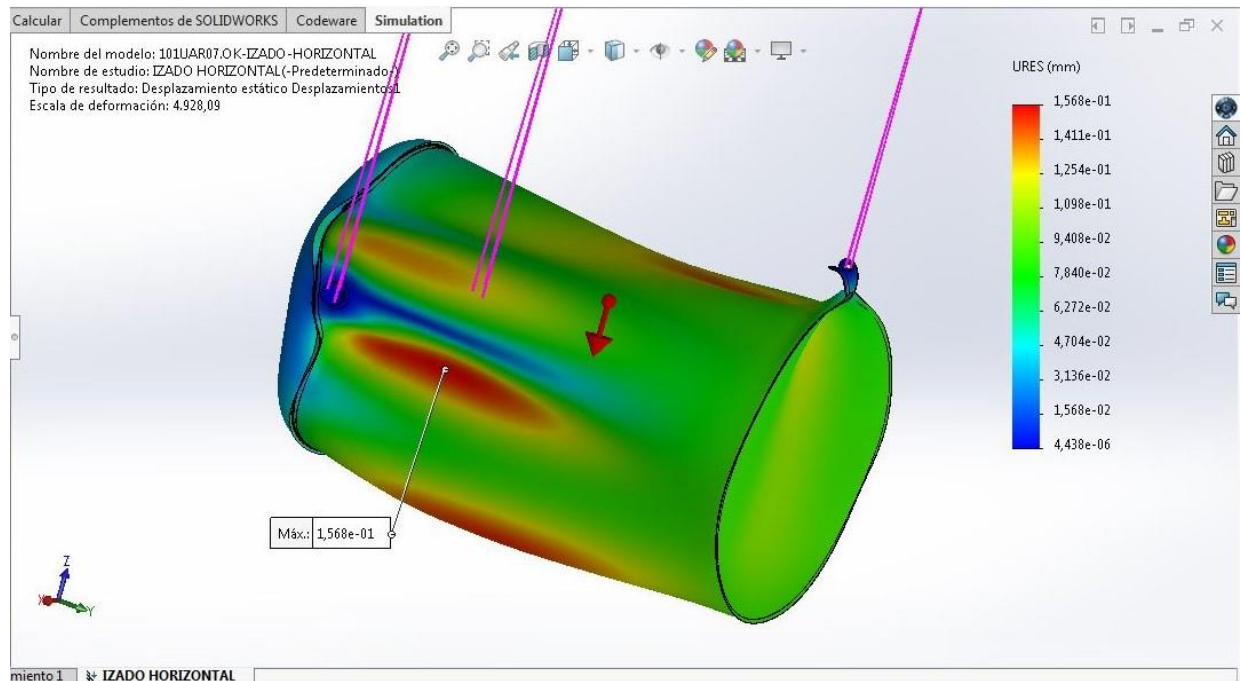
El tanque en el caso de izado horizontal no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. Y tiene un factor de seguridad de:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{37,65 \text{ MPa}} = 6,91$$

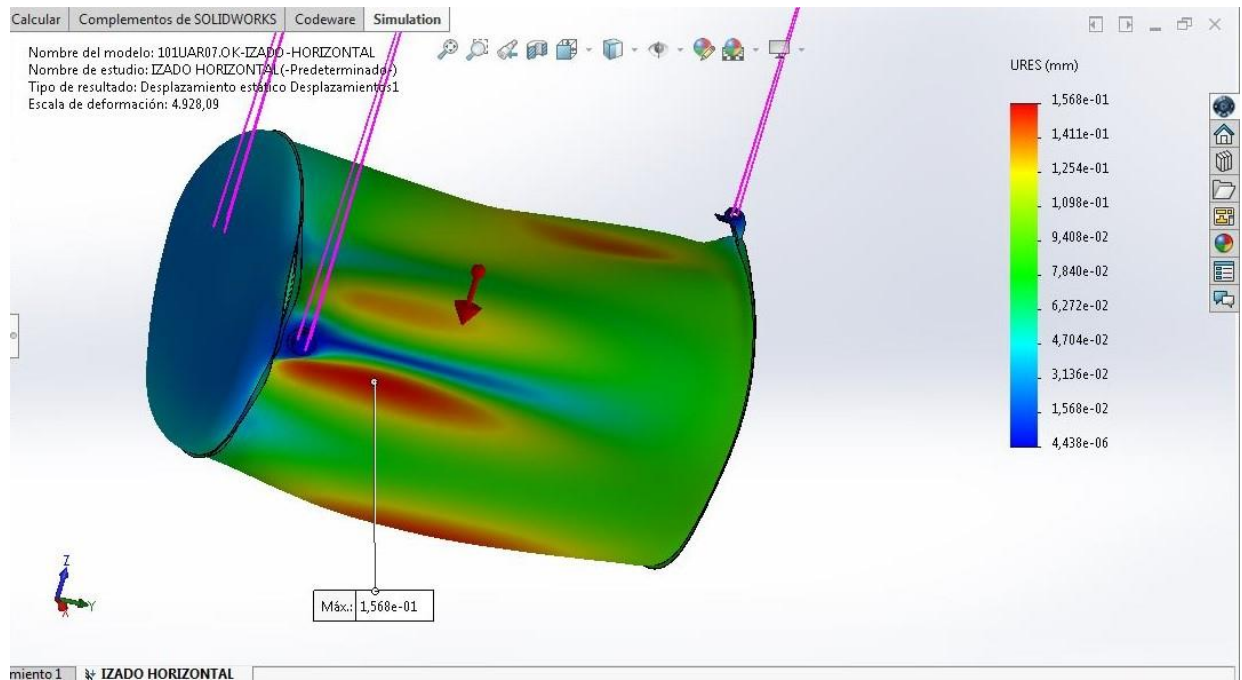
El factor de seguridad en la situación natural del tanque era de 142,39 y para el izado vertical del tanque era de 7,47 por lo que se puede observar que se trata de un caso más similar al izado vertical, en el que el tanque no se deforma plásticamente, pero las tensiones que tiene que soportar son grandes en comparación a la situación natural.

Aunque en el izado vertical y horizontal, la tensión máxima es similar, no son similares en cuanto a la zona donde esto ocurre. En el izado vertical, la tensión máxima se da en la parte inferior de la virola mientras que en el izado horizontal se da en la orejeta.

### Distribución de desplazamientos alrededor del tanque:

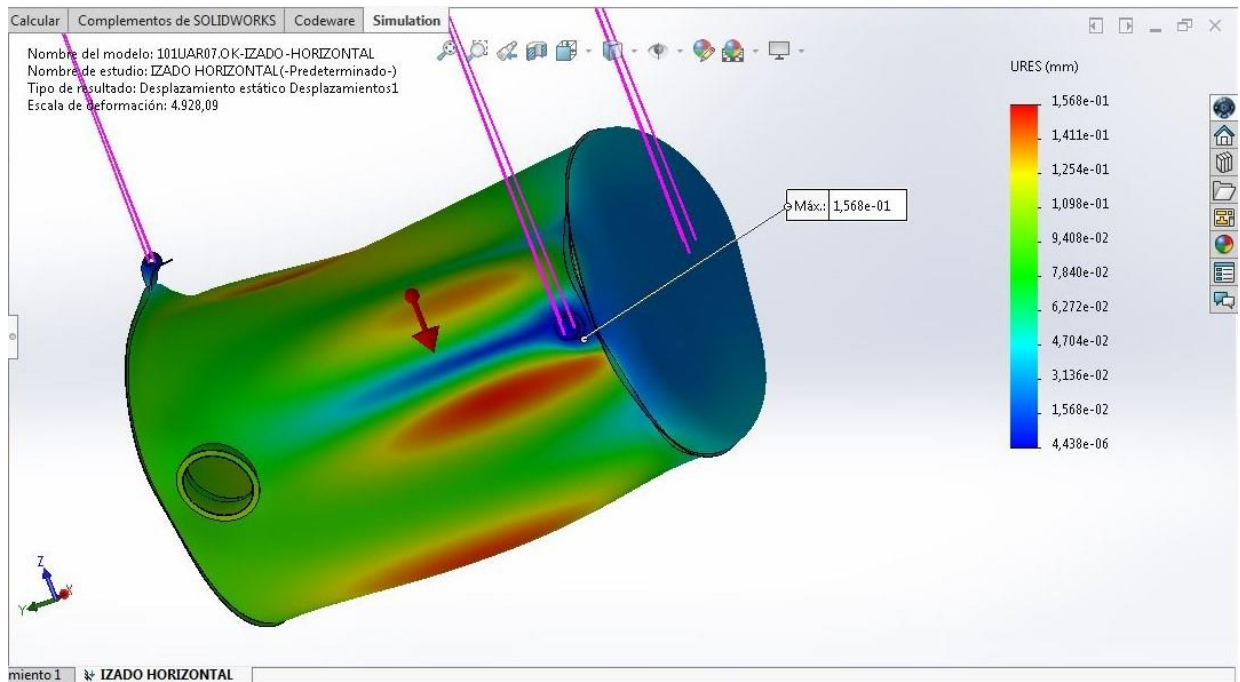


*Figura 23: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal*



*Figura 24: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal*





*Figura 25: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal*

En la Figura 23 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en una zona intermedia de la virola y es de 0,1568 mm. Además, de las Figuras 23, 24 y 25 también se pueden sacar conclusiones. En el izado horizontal del tanque:

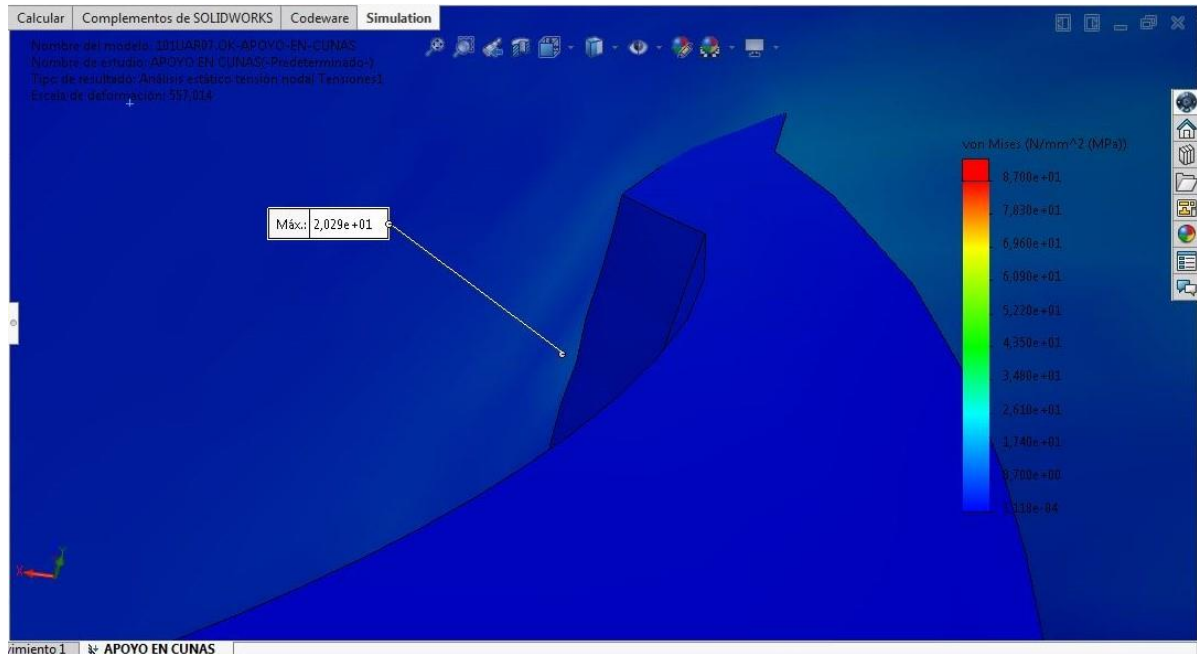
- El techo es lo que menos desplazamiento sufre
- El suelo sufre un desplazamiento prácticamente constante, pero muy pequeño, de en torno a 0,08 milímetros
- La virola sufre desplazamientos distintos. La mayor parte sufre en torno a 0,08 milímetros, pero hay algunas áreas que llegan a algo más de 0,15 milímetros.

En el caso de izado vertical se producía un desplazamiento máximo de 19,77 milímetros.

En comparación el desplazamiento en el izado horizontal es prácticamente nulo.

## 9.2.4 Apoyo del tanque en cunas

Distribución de tensiones alrededor del tanque:



*Figura 26: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de apoyo en cunas*

En la Figura 26 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la virola cerca del contacto entre cuna y virola y es de 20,29 MPa.

Además, se puede apreciar que:

- Es únicamente alrededor del contacto entre cuna y virola donde las tensiones son más altas en la estructura. En esta zona se sufren tensiones en torno a 20 MPa.
- En el resto de la estructura las tensiones son muy pequeñas. No son superiores a 1 MPa.



### Comprobación de fallo elástico según el criterio de Von Mises:

La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 20,29 MPa y el punto en el que se da tiene de material el acero SA-516 Grado 70, que tiene un límite elástico de 260 MPa.

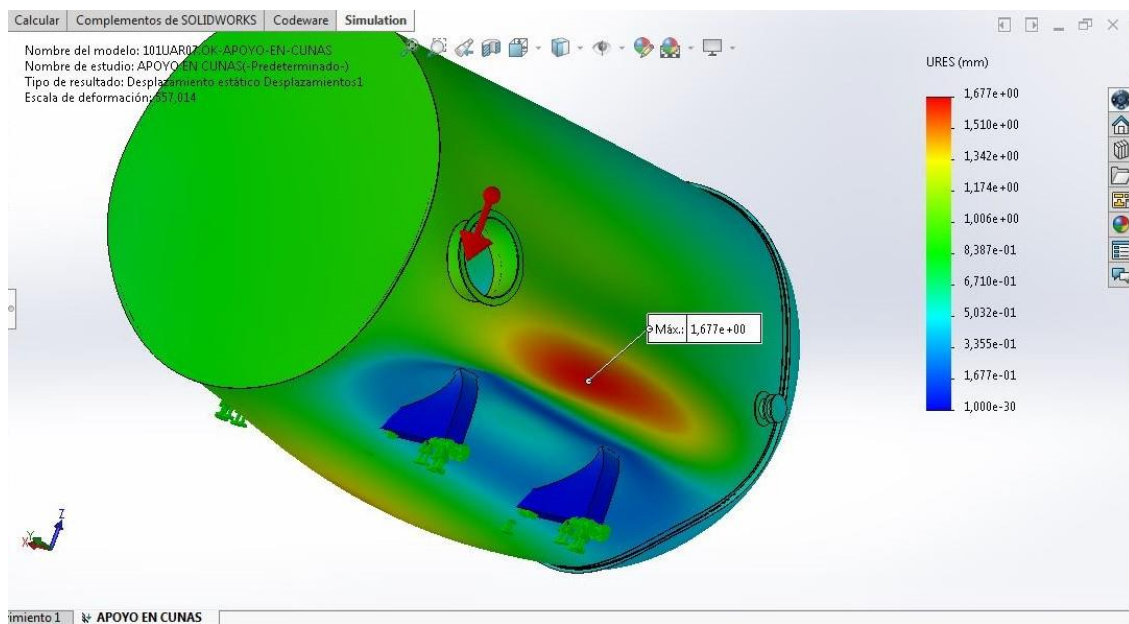
$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 20,29 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

El tanque en el caso de apoyo en cunas no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. Y tiene un factor de seguridad de:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{20,29 \text{ MPa}} = 12,81$$

Si este factor de seguridad se compara con casos anteriores, se observa que tiene que soportar tensiones mucho más altas que en la situación natural, pero similares a las de izado vertical y horizontal.

### Distribución de desplazamientos alrededor del tanque:



*Figura 27: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas*

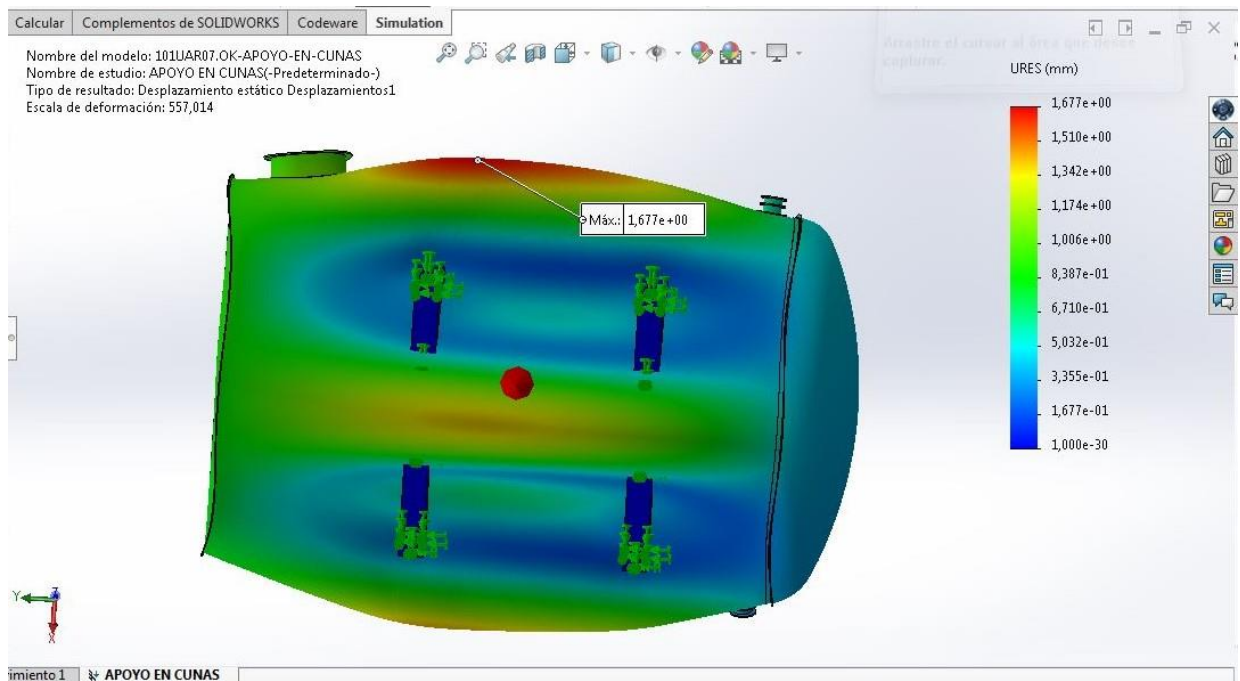


Figura 28: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas

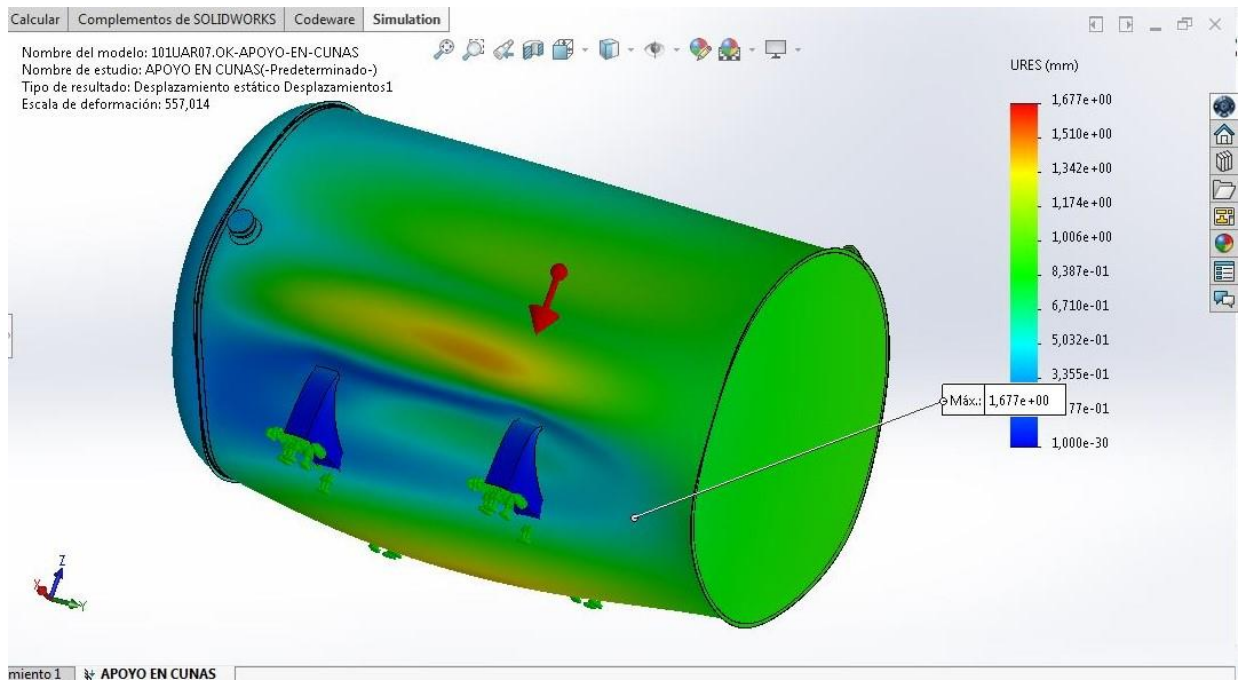


Figura 29: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas

En la Figura 27 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en la virola, en una zona entre las 2 cunas donde se abomba ligeramente la virola y es de 1,67 mm. Además, de las Figuras 27, 28 y 29 también se pueden sacar conclusiones. En el apoyo del tanque en cunas:

- El techo es lo que menos desplazamiento sufre
- El suelo sufre un desplazamiento prácticamente constante, pero muy pequeño, de en torno a 0,7 milímetros
- La virola sufre desplazamientos distintos. La mayor parte sufre en torno a 0,7 milímetros, pero hay algunas áreas que llegan a algo más de 1,6 milímetros. Estas áreas se dan un poco por encima de la altura de las cunas. Mientras que la zona de la virola pegada a las cunas apenas sufre desplazamiento.
- Las cunas tienen un desplazamiento prácticamente nulo. Tan solo la zona de contacto con la virola está en torno a 0,5 milímetros.

En el caso de izado vertical se producía un desplazamiento máximo de 19,77 milímetros. En comparación el desplazamiento en este caso es pequeño, pero apreciable.

### **9.3 Conclusión**

Tras realizar el diseño del tanque mediante el API 650 y comprobar que se cumple el criterio de Von Mises para los 4 casos (el tanque no se deformará plásticamente), se puede concluir que el tanque es apto y cumple con todo lo requerido.

En base a esto se puede definir completamente el plano final del tanque, que se corresponde con el Plano 2: “Tanque de almacenamiento” del documento Planos.

## 10. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Capítulo	Importe
1. Acondicionamiento del terreno	36,00 €
2. Cimentaciones	675,80 €
3. Material del tanque	27729,53 €
4. Ensayos no destructivos	3502,67 €
5. Alquiler de equipos	1059,40 €
6. Mano de obra	23150,00 €
Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)	56153,40 €
Gastos Generales (15%)	8423,01 €
Beneficio Industrial (6%)	3369,20 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	67945,61 €
Honorarios (7%)	4756,19 €
Suma	72701,80 €
IVA (21%)	15267,38 €
Presupuesto Total	87969,18 €

**El presupuesto total asciende a la cantidad de OCHENTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS SESENTA Y NUEVE EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.**

**87969,18 €**

## **11. VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y LEGAL**

En cuanto a la viabilidad técnica, para el diseño del tanque se ha utilizado una referencia en códigos de diseño de tanques como es el API 650, que ha servido para determinar los requisitos mínimos de diseño. Y para el cálculo estructural se hace uso de uno de los softwares CAD más extendidos como es el de SolidWorks, para posteriormente comprobar el criterio de Von Mises. Además, todos los materiales de los diferentes elementos del tanque deben cumplir con las especificaciones requeridas. Por lo que se puede afirmar que el proyecto es viable técnicamente.

En lo que se refiere a viabilidad económica, se ha diseñado el tanque con el API 650 que como se ha explicado anteriormente, cubre los requisitos mínimos que debe cumplir el tanque de almacenamiento. De esta manera se han calculado los espesores mínimos de chapa de suelo, virola y techo y se ha determinado la necesidad o no de anclajes y de viga rompevientos intermedia. Además, los materiales son los aptos para cada tipo de componente. Por lo que se puede afirmar que se ha ajustado el presupuesto al mínimo siempre dentro de la seguridad necesaria y que, por tanto, el proyecto es viable económicamente.

Finalmente, desde el punto de vista de la legalidad, el proyecto cumple con toda la normativa obligatoria vigente y con lo que requiere el cliente, por lo que el proyecto es viable legalmente.

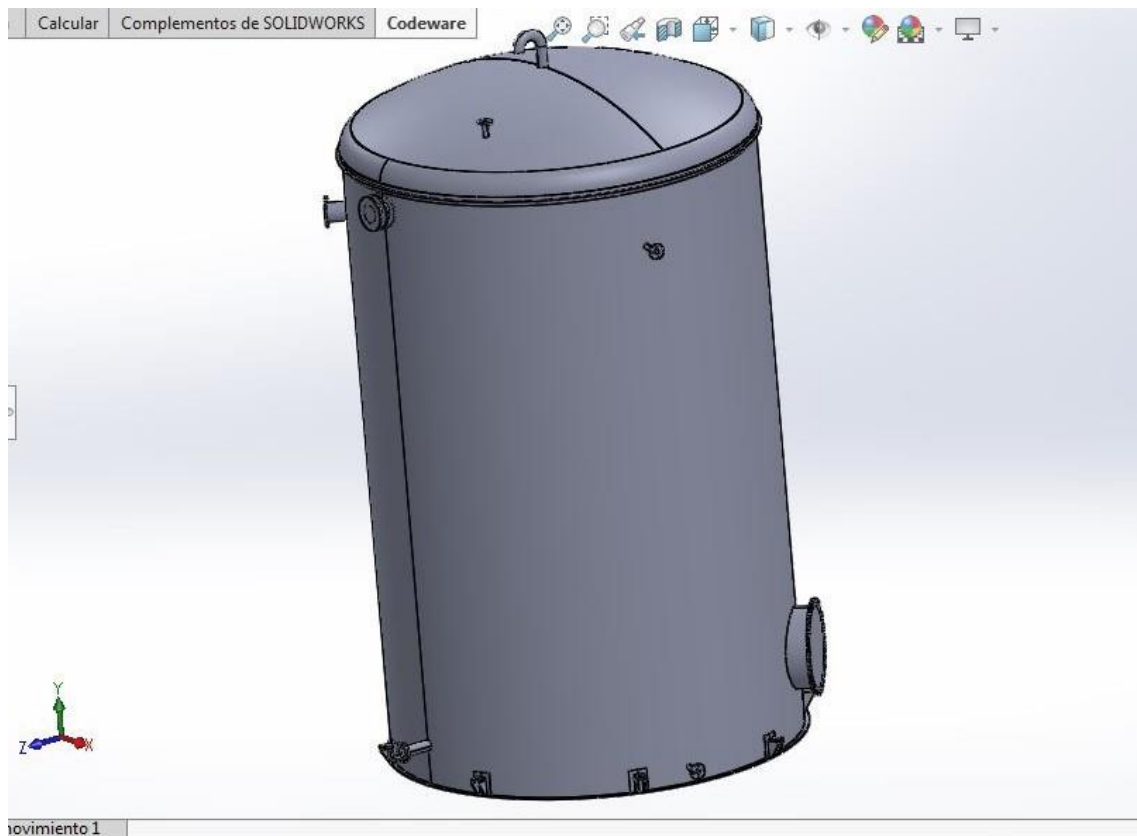
## 12. CONCLUSIONES

En la realización de este proyecto se ha partido por los datos del tanque de almacenamiento que ha requerido el cliente. Una vez que esto es conocido se ha realizado el diseño del tanque mediante el código de diseño API 650, con el que se ha determinado el espesor mínimo de suelo, virola y techo y se ha determinado que necesita anclajes, pero no viga rompevientos intermedia. Además, se ha calculado el espacio libre de líquido que debe haber desde el nivel de líquido para proteger frente a olas. Y los materiales de los elementos se han elegido para que cumplan con la norma.

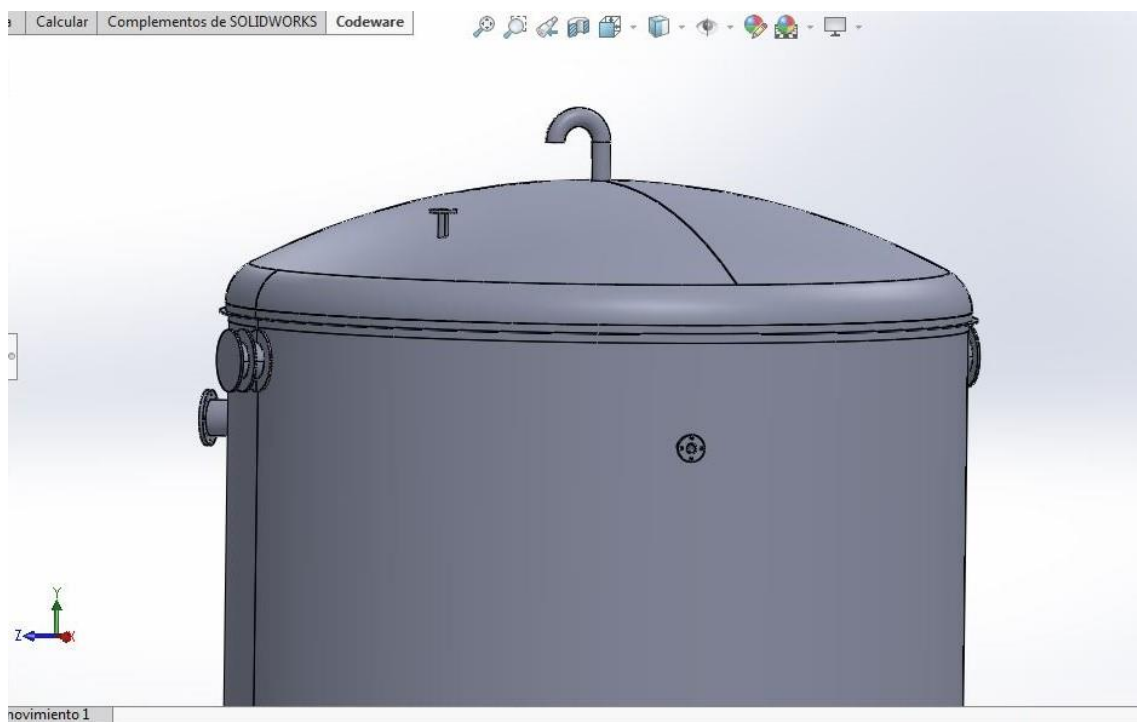
Estando definidas todas las características geométricas y de materiales del tanque, se ha realizado el cálculo estructural de los 4 casos más importantes que incluyen también su transporte: situación natural del tanque, izado vertical del tanque, izado horizontal del tanque y apoyo en cunas del tanque. En cada uno de ellos se han determinado los desplazamientos y las tensiones de Von Mises a lo largo del tanque gracias al cálculo por elementos finitos. Y mediante el criterio de Von Mises se ha comprobado que el tanque no se va a deformar plásticamente en ninguna de las 4 situaciones en las que se encuentre.

Conociendo que el tanque es apto se ha realizado el plano final de este y su presupuesto, que asciende a los 87969,18€.

Además, a modo de facilitar la visión global del tanque, se ha realizado el modelado del tanque completo en SolidWorks como se puede ver en las Figuras 30, 31, 32 y 33.

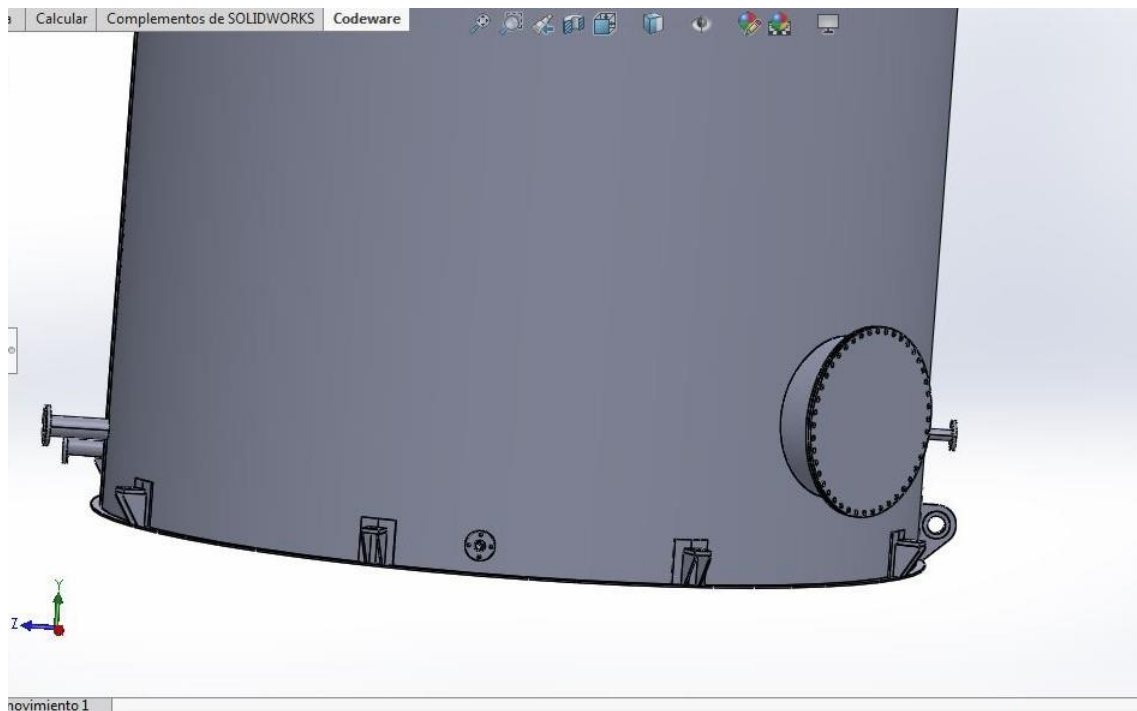


*Figura 30: Tanque completo modelado en SolidWorks*

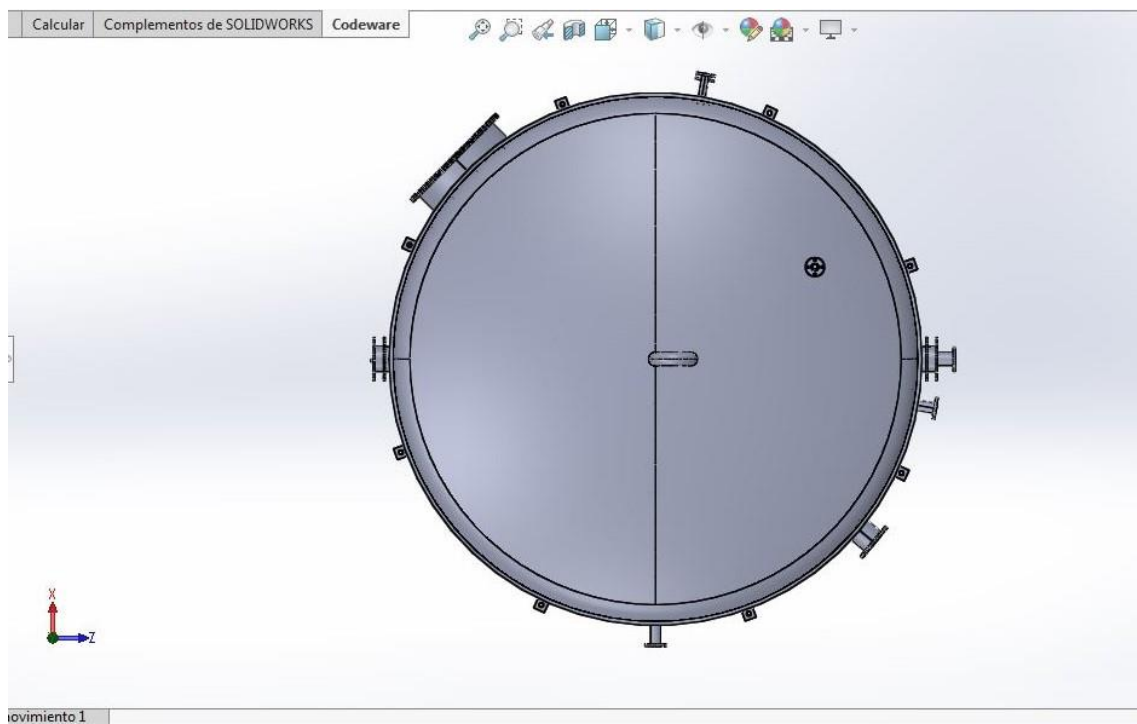


*Figura 31: Tanque completo modelado en SolidWorks*





*Figura 32: Tanque completo modelado en SolidWorks*



*Figura 33: Tanque completo modelado en SolidWorks*



# **DOCUMENTO II:**

## **ANEXOS**



# ÍNDICE DE LOS ANEXOS

1	ANEXO 1: DATOS DE PARTIDA Y DISEÑO CON API650 .....	77
1.1	Datos de partida requeridos por el cliente.....	77
1.2	Diseño mediante estándar API 650 .....	81
1.2.1	Diseño del suelo .....	81
1.2.2	Diseño de la virola .....	82
1.2.3	Diseño del techo .....	85
1.2.4	Prueba de rigidez de la virola .....	90
1.2.5	Necesidad de anclaje según carga de viento.....	93
1.2.6	Espacio libre de protección por olas .....	100
2	ANEXO 2: CÁLCULOS DE LA SITUACIÓN NATURAL DEL TANQUE .....	103
2.1	Introducción .....	103
2.2	Datos generales .....	105
2.2.1	Modelado del tanque .....	105
2.2.2	Materiales.....	107
2.2.3	Conexiones .....	113
2.2.4	Sujeciones externas .....	114
2.2.5	Cargas externas .....	115
2.2.6	Mallado.....	117
2.3	Resultados .....	122
2.3.1	Tensiones.....	122
2.3.2	Desplazamientos .....	127

3	ANEXO 3: CÁLCULOS DEL IZADO DEL TANQUE EN POSICIÓN VERTICAL.	131
3.1	Introducción .....	131
3.2	Datos generales .....	134
3.2.1	Modelado del tanque .....	134
3.2.2	Materiales .....	135
3.2.3	Conexiones .....	135
3.2.4	Sujeciones externas .....	136
3.2.5	Cargas externas .....	136
3.2.6	Mallado .....	141
3.3	Resultados .....	145
3.3.1	Tensiones .....	145
3.3.2	Desplazamientos .....	149
4	ANEXO 4: CÁLCULOS DEL IZADO DEL TANQUE EN POSICIÓN HORIZONTAL	153
4.1	Introducción .....	153
4.2	Datos generales .....	155
4.2.1	Modelado del tanque .....	155
4.2.2	Materiales .....	156
4.2.3	Conexiones .....	156
4.2.4	Sujeciones externas .....	157
4.2.5	Cargas externas .....	157
4.2.6	Mallado .....	162
4.3	Resultados .....	164

4.3.1	Tensiones.....	164
4.3.2	Desplazamientos .....	168
5	ANEXO 5: CÁLCULOS DEL APOYO DEL TANQUE EN CUNAS .....	172
5.1	Introducción .....	172
5.2	Datos generales .....	173
5.2.1	Modelado del tanque .....	173
5.2.2	Materiales.....	175
5.2.3	Conexiones .....	175
5.2.4	Sujeciones externas .....	175
5.2.5	Cargas externas .....	176
5.2.6	Mallado.....	177
5.3	Resultados .....	180
5.3.1	Tensiones.....	180
5.3.2	Desplazamientos .....	183



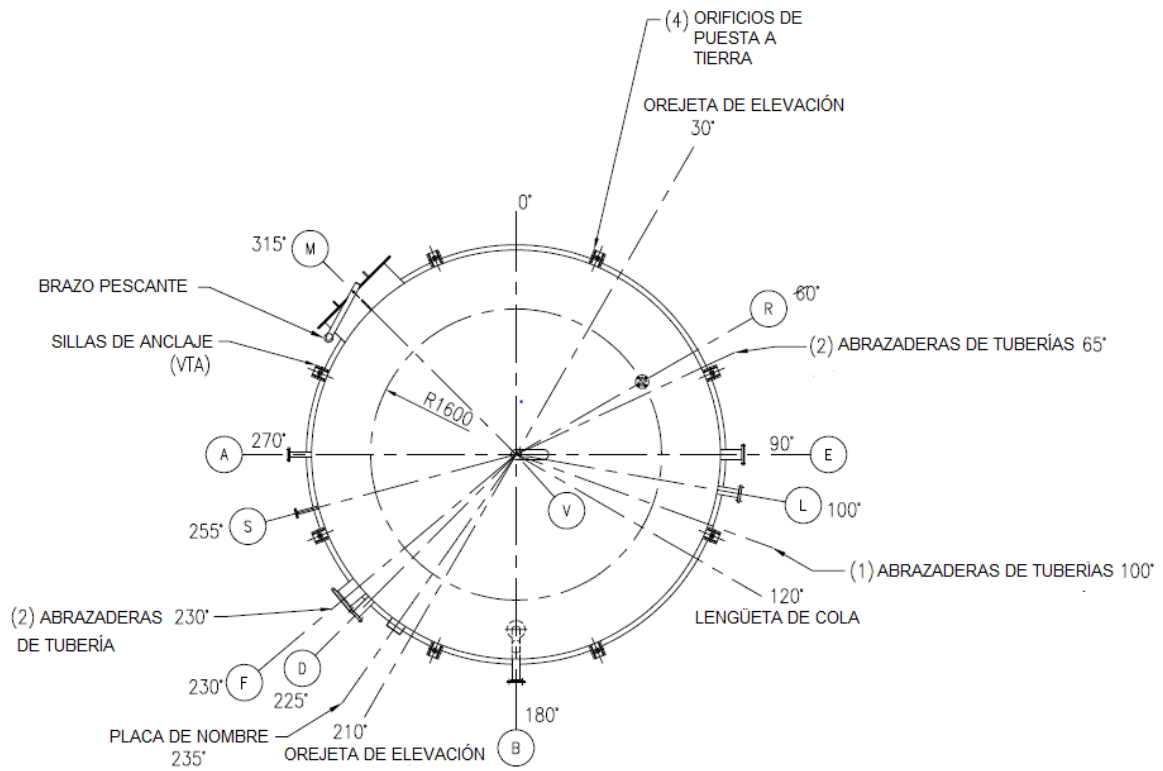


## **1 ANEXO 1: DATOS DE PARTIDA Y DISEÑO CON API650**

### **1.1 Datos de partida requeridos por el cliente**

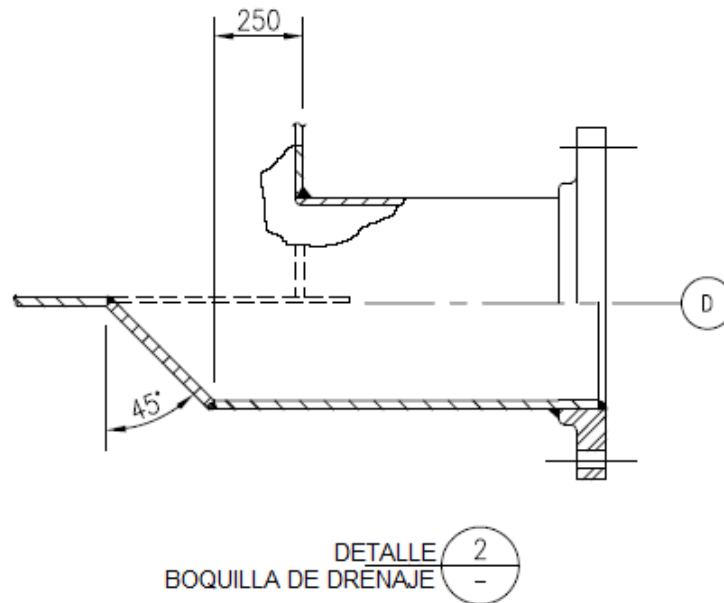
- Diámetro del tanque:  $D = 4,50 \text{ m}$
- Altura del tanque:  $H = 6,80 \text{ m}$
- Capacidad nominal:  $V = 108 \text{ m}^3$
- Número de anillos: 3
- Altura de cada anillo: V1 (2,5 m), V2 (1,8 m) y V3 (2,5 m)
- Presión de diseño: atmosférica
- Mínima temperatura de diseño:  $0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 32 \text{ }^{\circ}\text{F}$
- Máxima temperatura de diseño:  $85 \text{ }^{\circ}\text{C} = 185 \text{ }^{\circ}\text{F} < 200 \text{ }^{\circ}\text{F}$ .
- Densidad de diseño:  $G = 1,12 \text{ kg / dm}^3$
- Prueba de diseño:  $G = 1,00 \text{ kg / dm}^3$
- Tolerancia de corrosión (fondo/suelo):  $C_f = 3,00 \text{ mm}$
- Tolerancia de corrosión (virola):  $C_e = 3,00 \text{ mm}$
- Tolerancia de corrosión (techo):  $C_t = 3,00 \text{ mm}$
- Código de diseño: API 650
- Material: A516 - Grado 70
- Fuerza de rendimiento mínima: 260 MPa
- Tensión de diseño del producto: 173 MPa
- Prueba de tensión hidrostática: 195 MPa
- Equipo/estructura de elevación: No
- Localización: al aire libre
- Contenido: Solución cáustica de NaOH al 10%

Además de estos datos, también se detallan las dimensiones y posición de las distintas tubuladuras, tuberías... Todo esto se puede ver a continuación en las Figuras 34, 35, 36 y 37.



*Figura 34: Vista en planta del tanque, proporcionada por el cliente*





*Figura 37: Boquilla de drenaje. Detalle 2 de la Figura 35*

Notas, para las Figuras 34, 35, 36 y 37:

- 1- Todas las dimensiones están en milímetros.
- 2- El espesor mínimo indicado no es un espesor calculado. Se debe calcular el espesor de cada componente con un margen de corrosión de 3mm.

Todas estas dimensiones son el punto de partida. Si con API650 se verifica que alguna cota no cumple con la seguridad requerida, se modificará hacia el valor necesario según API 650.

## **1.2 Diseño mediante estándar API 650**

Las plantas de producción continuas como una industria petroquímica necesitan lugares donde almacenar productos para, o bien usar posteriormente, o bien transportarlos más adelante, etc. Cuando lo que se quiere almacenar son líquidos a baja presión, se usan tanques de almacenamiento. Estos son tanques cilíndricos verticales con fondo plano. Se caracterizan por permitir almacenamiento de grandes cantidades de productos a un bajo coste. La única limitación es que se pueden utilizar a presión atmosférica o a presiones internas que sean pequeñas.

Hay muchos códigos que se pueden aplicar para diseñar los tanques de almacenamiento. Uno de los más utilizados es el estándar API 650. Se trata de un código de diseño del Instituto Americano del Petróleo que persigue facilitar el diseño de tanques verticales sobre el suelo de fabricación soldada, por medio de seguir sus diferentes secciones que asegurarán que el tanque cumpla con las normas de seguridad necesarias.

El alcance del API 650 se limita a los tanques que almacenan fluidos en estado líquido, que operan a presión atmosférica o presiones internas menores de 18 kPa y que funcionan con temperaturas inferiores a 93 °C.

Cuando, por la naturaleza del fluido, se requiere que los tanques de almacenamiento funcionen con más de 18 kPa de presiones internas, se utilizan el estándar API 620. En el caso del tanque de este trabajo, se utiliza el API 650 debido a que, tal y como indica el cliente, la presión de diseño es la atmosférica y el código de diseño a seguir es este.

### **1.2.1 Diseño del suelo**

El suelo del tanque de almacenamiento se refiere al plato base, es decir, a la parte inferior del tanque que se une con la virola. Se trata de una chapa circular y maciza.

El espesor mínimo del suelo, y en general, de todas las placas inferiores se detalla en el punto 5.4.1 del API 650:

Las placas inferiores deben tener un espesor corroído de no menos de 6 mm.

Por tanto, para obtener el espesor mínimo del suelo, a esos 6 milímetros hay que sumarle la tolerancia de corrosión del suelo ( $C_f = 3,00$  mm).

Espesor mínimo suelo:  $6,00 + C_f = 6,00 + 3,00 = 9,00$  mm

Los espesores comerciales de chapa suelen ser de 4, 6, 8 o 10 milímetros por tanto se adoptará el inmediatamente superior. En este caso, un espesor de 10 milímetros.

**Espesor adoptado suelo: 10,00 mm**

### **1.2.2 Diseño de la virola**

La virola es la chapa redondeada que une suelo y techo del tanque de almacenamiento. Por tanto, es la chapa de metal más grande del tanque. El espesor mínimo que debe tener la virola se detalla en el punto 5.6.1.1 del API 650:

El espesor de la virola requerido será el mayor entre el espesor de la virola de diseño, incluyendo cualquier tolerancia por corrosión, o el espesor de la virola de prueba hidrostática. Pero este espesor no deberá ser menor que lo siguiente:

Nominal Tank Diameter		Nominal Plate Thickness	
(m)	(ft)	(mm)	(in.)
< 15	< 50	5	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>
15 to < 36	50 to < 120	6	<sup>1</sup> / <sub>4</sub>
36 to 60	120 to 200	8	<sup>5</sup> / <sub>16</sub>
> 60	> 200	10	<sup>3</sup> / <sub>8</sub>

*Tabla 2: Obtención del espesor mínimo de la virola en función del diámetro del tanque*

Como se observa en la Tabla 2, el espesor mínimo de la virola depende del diámetro nominal del tanque. Dado que el diámetro nominal del tanque es de 4,5 metros y, por tanto, menor de 15 metros, el espesor mínimo de la virola debe ser de 5 milímetros.

Espesor mínimo virola: 5,00 mm

La virola está dividida en 3 anillos o bandas, tal y como se indica en los datos de partida del apartado 1.1 del Anexo 1 del documento Anexos. Esto quiere decir que serán 3 chapas, 1 encima de la otra, que irán soldadas. El espesor mínimo de la virola también se obtiene en función de estas 3 bandas. Esto se detalla en el punto 5.6.3.2 del API 650:

El espesor mínimo de la virola será el mayor de los valores calculados por las siguientes fórmulas. Esto se tiene que calcular para cada banda.

$$t_{di} = \frac{4,9 \times D \times (H_i - 0,3) \times G}{S_d} + Ce$$

$$t_{ti} = \frac{4,9 \times D \times (H_i - 0,3)}{S_t}$$

*Fórmula 3: Espesor mínimo virola*

Donde:

- $t_{di}$  es el espesor de diseño de la virola, en milímetros

- $t_{ti}$  es el espesor de la virola de prueba hidrostática, en milímetros
- $D$  es el diámetro nominal del tanque, en metros
- $H_i$  es el nivel de líquido de diseño, en metros. Es la altura desde la parte inferior de la virola hasta la parte superior de la virola, o hasta el límite de llenado del tanque o hasta cualquier otro nivel especificado por el comprador (como puede ser un techo flotante interno)
- $G$  es la gravedad específica de diseño del líquido que se almacenará
- $C_e$  es la tolerancia de corrosión, en milímetros
- $S_d$  es la tensión admisible para las condiciones de diseño, en MPa
- $S_t$  es la tensión admisible para la prueba hidrostática, en MPa

Los parámetros con el subíndice  $i$ , son los que varían para cada 1 de las 3 bandas, el resto son constantes. De esta manera se calculará  $t_{di}$  y  $t_{ti}$  para cada banda.

Los parámetros son conocidos del apartado 1.1 del Anexo 1 del documento Anexos:

$$D = 4,5 \text{ m}$$

$$G = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$C_e = 3 \text{ mm}$$

$$S_d = 173 \text{ MPa}$$

$$S_t = 195 \text{ MPa}$$



Banda	1	2	3
Altura de la banda, $H_i$ (m)	2,5	1,8	2,5
Espesor diseño virola, $t_{di}$ (mm)	5,75	4,88	5,75
Espesor prueba hidrostática virola, $t_{ti}$ (mm)	0,25	0,17	0,25

*Tabla 3: Espesor de diseño ( $t_{di}$ ) y de prueba hidrostática ( $t_{ti}$ ) de la virola*

Toda la virola ha de tener el mismo espesor. El mayor de los espesores obtenidos es de 5,75 milímetros, que supera los 5 milímetros obtenidos anteriormente. Por tanto:

Espesor mínimo virola: 5,75 mm

Los espesores comerciales de chapa suelen ser de 4, 6, 8 o 10 milímetros por tanto se adoptará el inmediatamente superior. En este caso, un espesor de 6 milímetros.

**Espesor adoptado virola: 6,00 mm**

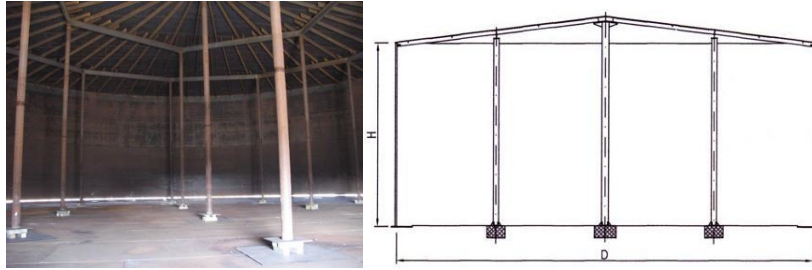
### 1.2.3 Diseño del techo

En primer lugar, hay que identificar qué tipo de techo es el de este tanque. En función de esto, la manera de calcular el espesor mínimo del techo cambia.

Los diferentes tipos de techos se detallan en el punto 5.10.1 del API 650:

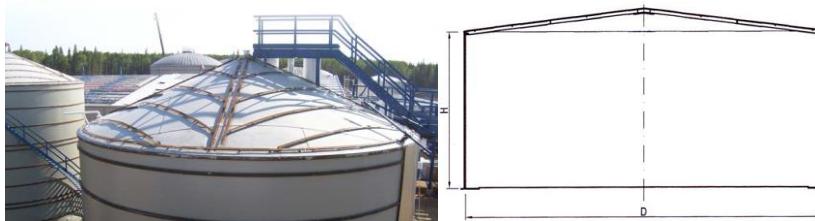
- a) Techo cónico soportado: es un techo formado aproximadamente en la superficie de un cono recto que está soportado o bien, por vigas y columnas, o bien, por vigas sobre armaduras con o sin columnas.

(Figura 38)



*Figura 38: Techo cónico soportado*

- b) Techo cónico autoportante: es un techo formado aproximadamente en la superficie de un cono recto que se apoya solo en su periferia. (Figura 39)



*Figura 39: Techo cónico autoportante*

- c) Techo en forma de bóveda autoportante: es un techo formado aproximadamente en una superficie esférica que se apoya solo en su periferia. (Figura 40)



*Figura 40: Techo en forma de bóveda autoportante*

- d) Techo en forma de paraguas autoportante: es un techo en forma de bóveda modifica formado de modo que cualquier sección horizontal sea un polígono regular con tantos lados como placas de techo hay y que se apoya solo en su periferia (Figura 41)



*Figura 41: Techo en forma de paraguas autoportante*

El techo del tanque de este proyecto se corresponde con el tipo c). Es un techo en forma de bóveda autoportante. El espesor mínimo este tipo de techo, se detalla en el punto 5.10.6 del API 650:

El espesor nominal del techo no debe ser menor que el mayor de:

$$\frac{r_r}{2,4} \times \sqrt{\frac{B}{2,2}} + Ct \quad \text{ó} \quad \frac{r_r}{2,7} \times \sqrt{\frac{U}{2,2}} + Ct \quad \text{ó} \quad 5mm$$

*Fórmula 4: Espesor mínimo techo*

Donde:

- $r_r$  es el radio del techo, en metros
- $Ct$  es la tolerancia de corrosión del techo, en milímetros
- $B$  es la mayor de las combinaciones de carga del 5.2.2 entre (e)(1) y (e)(2) con carga de nieve equilibrada  $S_B$  (kPa)

- U es la mayor de las combinaciones de carga del 5.2.2 entre (e)(1) y (e)(2) con carga de nieve desequilibrada  $S_u$  (kPa)

En el punto 5.2.2 (e), se detalla la combinación de cargas de gravedad:

$$(e)(1) \quad D_L + (L_R \text{ ó } S_U \text{ ó } S_B) + F_{pe} \times P_e$$

$$(e)(2) \quad D_L + P_e + 0,4 \times (L_R \text{ ó } S_U \text{ ó } S_B)$$

*Fórmula 5: Combinación de cargas de gravedad*

Donde:

- $D_L$  es el peso muerto, es decir, el peso del tanque o componente del tanque, incluido cualquier margen de corrosión a menos que se indique lo contrario, en kPa
- $P_e$  es la presión externa de diseño. No debe ser inferior a 0,25 kPa, excepto para tanques con ventilaciones de circulación donde se debe considerar 0. Unidades kPa
- $L_R$  es la carga viva mínima del techo. Es 1kPa en el área proyectada horizontal del techo. Alternativamente, la carga viva mínima de puede determinar con ASCE 7, pero no debe ser menor a 0,72 kPa.
- $S_B$  es la carga de diseño equilibrada. Y es 0,84 veces la carga de nieve del suelo, con símbolo  $S$ . Esta carga de nieve del suelo se determina a partir de ASCE 7 y depende del lugar.
- $S_U$  es la carga de diseño desequilibrada. Esta, para techos cónicos con una pendiente de  $10^\circ$  o menos debe ser igual a la carga de nieve de diseño equilibrada. Para todos los demás techos será 1,5 veces la carga de nieve de diseño equilibrada.<sup>7</sup>

En primer lugar, se va a calcular tanto B como U, a partir de la combinación de cargas de gravedad:

Para determinar  $D_L$  hay que conocer en primer lugar cada 1 de las masas del techo.

Esto se conoce que será de:

Platos cónicos: 1086 kg

Articulación angular de coronación: 90 kg

Accesorios cónicos: 160kg

Puerta de enlace: 428 kg

Como presión es fuerza dividido área:

$$D_L = \frac{1086 + 90 + 160 + 428}{\pi \times 2,25^2} = 110,91 \frac{Kg}{m^2} = 1088,06 \frac{N}{m^2} = 1,088 \text{ kPa}$$

$$P_e = 0$$

$$L_R = 1 \text{ kPa}$$

$$S_B = S_U = 0 \text{ porque la carga de nieve del suelo (S) en El Jadida es 0}$$

Como estas cargas de nieve son 0, van a dar lo mismo B y U:

$$(e)(1) \quad D_L + (L_R \text{ ó } S_U \text{ ó } S_B) + F_{pe} \times P_e = 1,088 + (1 \text{ ó } 0) + 0 = 2,088 \text{ kPa}$$

$$(e)(2) \quad D_L + P_e + 0,4 \times (L_R \text{ ó } S_U \text{ ó } S_B) = 1,088 + 0 + 0,4 \times (1 \text{ ó } 0) = 1,488 \text{ kPa}$$

Como (e)(1) es mayor que (e)(2), el resultado de la combinación de cargas válido es el de 2,088 kPa.  $B = U = 2,088 \text{ kPa}$

El resto de los parámetros de la Fórmula 4 son:

$$r_r = 4,5 \text{ m}$$

$$Ct = 3 \text{ mm}$$

Los resultados de la fórmula 4 son:

$$\frac{r_r}{2,4} \times \sqrt{\frac{B}{2,2}} + Ct = 4,82 \text{ mm}$$

$$\frac{r_r}{2,7} \times \sqrt{\frac{U}{2,2}} + Ct = 4,62 \text{ mm}$$

Por tanto, el espesor mínimo del techo, como ninguno de estos 2 resultados supera los 5 milímetros, es de 5 milímetros. Pero con motivo de tener una mayor seguridad se adoptan 8 milímetros. Cabe destacar que el API 650 aporta los criterios mínimos de seguridad, a partir de ellos todo lo que sea aumentar la seguridad del tanque sin que implique un coste elevado será bueno.

Espesor mínimo techo: 5,00 mm

**Espesor adoptado techo: 8,00 mm**

#### **1.2.4 Prueba de rigidez de la virola**

En este apartado se quiere conocer si la virola es rígida por si sola o si no. En caso de que no lo fuera, habría que añadir al tanque una viga rompevientos intermedia. Esto se puede calcular a partir del punto 5.9.7 del API 650:

La altura máxima de la virola no rigidizada se calculará de la siguiente manera:

$$H1 = 9,47 \times t \times \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3 \times \left(\frac{190}{V}\right)^2}$$

*Fórmula 6: Altura máxima para tanque no rigidizado*

Donde:

- **H1** es la altura máxima de la virola no rigidizada, en metros
- **t** es el espesor nominal del trozo de virola más delgado, en milímetros
- **D** es el diámetro nominal del tanque, en metros
- **V** es la velocidad de diseño del viento, en km/h

Después de que se haya calculado la altura máxima de la virola no rigidizada, H1, la altura transformada de la virola se calculará de la siguiente manera:

- a) Con la siguiente ecuación, se cambia el ancho real de cada tramo de virola por un ancho transpuesto de cada tramo de virola:

$$W_{tr} = W \times \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5}$$

*Fórmula 7: Ancho transpuesto de cada tramo de virola*

Donde:

- **W<sub>tr</sub>** es el ancho transpuesto de cada tramo de virola, en milímetros
- **W** es el ancho real de cada tramo de virola, en milímetros

- $t_{uniform}$  es el espesor nominal del tramo de virola más delgado, en milímetros
  - $t_{actual}$  es el espesor nominal del tramo de virola que se está calculando
- b) Se suman los anchos transpuestos de todos los tramos de virola. Esta suma da la altura de la virola transformada.

Con estos 2 parámetros calculados, se comparan y si la altura de la virola transformada es mayor que la altura máxima de la virola no rigidizada, H1, se requiere una viga rompevientos intermedia.

En primer lugar, se calcula la altura máxima de la virola no rigidizada. Es decir, la altura que no puede superar la virola para no tener que añadirle rigidez:

$t = 5 \text{ mm}$ , se supone 5 en vez de 6 para mayor seguridad

$D = 4,5 \text{ m}$

$V = 180 \text{ km/h}$ , dato del cliente que también está mayorado

Con esto se obtiene:

$$H1 = 9,47 \times t \times \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3} \times \left(\frac{190}{V}\right)^2 = 9,47 \times 5 \times \sqrt{\left(\frac{5}{4,5}\right)^3} \times \left(\frac{190}{180}\right)^2 = 61,79 \text{ m}$$

A continuación, se va a obtener cada uno de los anchos transpuestos. El espesor de todos los tramos/bandas de virola es el mismo, 6 milímetros:

- Banda 1

$$W_{tr,1} = W \times \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5} = 2,5 \times \sqrt{\left(\frac{6}{6}\right)^5} = 2,5 \text{ m}$$



- Banda 2

$$W_{tr,2} = W \times \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5} = 1,8 \times \sqrt{\left(\frac{6}{6}\right)^5} = 1,8 \text{ m}$$

- Banda 3

$$W_{tr,3} = W \times \sqrt{\left(\frac{t_{uniform}}{t_{actual}}\right)^5} = 2,5 \times \sqrt{\left(\frac{6}{6}\right)^5} = 2,5 \text{ m}$$

Con esto, se puede obtener la altura de la virola transformada:

$$\sum W_{tr} = W_{tr,1} + W_{tr,2} + W_{tr,3} = 2,5 + 1,8 + 2,5 = 6,8 \text{ m}$$

Como la altura de la virola transformada (6,8 metros) es menor que la altura máxima de la virola no rigidizada (61,79 metros), **no es necesaria una viga rompevientos intermedia.**

### 1.2.5 Necesidad de anclaje según carga de viento

En este apartado se van a calcular las cargas de viento que soportará el tanque, y en función de ellas se concluirá si son o no necesarios los anclajes. Esto se detalla en el punto 5.11.2 del API 650:

Los tanques no anclados deberán satisfacer todos los siguientes criterios:

$$4- \quad 0,6 \times M_W + M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$5- \quad M_W + F_P \times M_{PI} < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$$

$$6- \quad M_{WS} + F_P \times M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

*Fórmula 8: Desigualdades para tanque no anclado por causa de viento*

Donde:

- $F_P$  es el factor de combinación de presiones, tiene un valor mínimo de 0,4
- $M_{PI}$  es el momento de la unión virola-suelo debido a la presión interna de diseño
- $M_W$  es el momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento vertical y horizontal
- $M_{DL}$  es el momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la virola y el techo
- $M_F$  es el momento de la unión virola-suelo debido al peso del líquido
- $M_{DLR}$  es el momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la placa del techo más cualquier estructura adjunta
- $M_{WS}$  es el momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento horizontal

En primer lugar, se van a obtener  $M_W$  y  $M_{WH}$ . Para ello es necesario obtener las presiones del viento. Esto se encuentra en el punto 5.2(k) del API 650:

La presión de diseño del viento sobre la virola ( $P_{WS}$ ) es de:

$$P_{WS} = 0,86 \times \left( \frac{V}{190} \right)^2$$

*Fórmula 9: Presión de diseño del viento sobre la virola*

La presión de diseño del viento sobre el techo ( $P_{WR}$ ) es de:

$$P_{WR} = 1,44 \times \left( \frac{V}{190} \right)^2$$

*Fórmula 10: Presión de diseño del viento sobre el techo*

Donde:

- $P_{WS}$  y  $P_{WR}$  son presiones, en kPa
- $V$  es la velocidad de diseño del viento, en km/h

$$P_{WS} = 0,86 \times \left( \frac{V}{190} \right)^2 = 0,86 \times \left( \frac{180}{190} \right)^2 = 0,77 \text{ kPa}$$

Aunque, por indicaciones del cliente no se usa este valor. Se usa, según NV 65:

$$P_{WS} = 1,438 \text{ kPa}$$

$$P_{WR} = 1,44 \times \left( \frac{V}{190} \right)^2 = 1,44 \times \left( \frac{180}{190} \right)^2 = 1,29 \text{ kPa}$$

También hay que obtener la altura del techo. Sabiendo que el radio del techo son 4,5 metros:

$$H_{techo} = 4,5 - \sqrt{4,5^2 - 2,25^2} = 0,60 \text{ m}$$

El momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento vertical y horizontal,  $M_w$ , es:

$$M_W = P_{WS} \times D_{tanque} \times H_{virola} \times \frac{H_{virola}}{2} + P_{WS} \times D_{tanque} \times \frac{H_{virola}}{2} \times \frac{H_{techo}}{2} + P_{WR} \times$$

$$\pi \times \left(\frac{D_{tanque}}{2}\right)^2 \times \frac{D_{tanque}}{2} = 1,438 \times 4,5 \times 6,8 \times 3,4 + 1,438 \times 4,5 \times 3,4 \times 0,3 +$$

$$1,29 \times \pi \times 2,25^2 \times 2,25 = \mathbf{202,37\ m \times kN}$$

El momento de vuelco de la unión virola-suelo debido a la presión del viento horizontal,

$M_{WS}$ , es:

$$M_{WS} = P_{WS} \times D_{tanque} \times \frac{H_{virola}^2}{2} = 1,438 \times 4,5 \times \frac{6,8^2}{2} = \mathbf{149,61\ m \times kN}$$

El momento de la unión virola-suelo debido a la presión interna de diseño,  $M_{PI}$ , es:

$M_{PI} = 0$  , no hay presión interna

Para obtener  $M_{DL}$  es necesario sumar anteriormente los pesos que corresponden.

Lista de pesos total del tanque:

- Virola: 4614 kg
- Platos cónicos techo: 1086 kg
- Articulación angular de coronación: 90 kg
- Accesorios de la virola: 1000 kg
- Accesorios cónicos: 160 kg
- Placa inferior: 1330 kg
- Puerta de enlace: 428 kg

- Soportes de tubería: 200 kg

Peso total: 8908 kg

Para  $M_{DL}$  los pesos que se deben tener en cuenta son el de la virola, los platos cónicos, la articulación angular de coronación, los accesorios de la virola, los accesorios cónicos, la puerta de enlace y los soportes de tubería. Es decir, como le afecta el peso de virola y techo, no se tiene en cuenta el peso de la placa inferior.

$$D_L = 4614 + 1086 + 90 + 1000 + 160 + 428 + 200 = 7578 \text{ Kg}$$

Para obtenerlo en unidades de fuerza, se multiplica por la gravedad:

$$D_L = 7578 \text{ Kg} \times 9,81 = 743340 \text{ N} = 74,34 \text{ kN}$$

El momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la virola y el techo,  $M_{DL}$ , es:

$$M_{DL} = D_L \times \frac{D_{tanque}}{2} = 74,34 \times 2,25 = \mathbf{167,26 \text{ m} \times \text{kN}}$$

Para obtener  $M_F$  hay que obtener antes,  $w_L$ . La obtención de este parámetro se detalla en el punto 5.11.2.3 del API 650:

$w_L$  es el peso resistente del contenido del tanque por unidad de longitud (N/m) de la circunferencia de la virola, basado en un peso específico  $G$  de 0,7 o el peso específico real del producto, el que sea menor.

$$w_L = 70 \times t_b \times \sqrt{(F_{by} \times G \times H)}$$

*Fórmula 11: Peso resistente del contenido del tanque*

Donde:

- $F_{by}$  es el límite elástico mínimo de la placa inferior debajo de la virola, en MPa
- $G$  es el peso específico real del líquido almacenado o 0,7, el que sea menor
- $H$  es la altura de diseño de líquido, en metros
- $t_b$  es el espesor corroído requerido de la placa inferior debajo de la virola que se usa para resistir el viento, en milímetros

$$F_{by} = 260 \text{ MPa}$$

$$G = 0,7$$

$$H = 6,8 \text{ m}$$

Dado que el espesor del suelo obtenido anteriormente son 10 milímetros y la tolerancia de corrosión del suelo ( $C_f$ ) son 3 milímetros,  $t_b$  es:

$$t_b = 10 - 3 = 7 \text{ mm}$$

El peso resistente es:

$$w_L = 70 \times t_b \times \sqrt{(F_{by} \times G \times H)} = 70 \times 7 \times \sqrt{(260 \times 0,7 \times 6,8)} = 17237,97 \text{ N/m}$$

El momento de la unión virola-suelo debido al peso del líquido,  $W_F$ , es:

$$M_F = w_L \times \pi \times D_{tanque} \times 10^{-3} \times \frac{D_{tanque}}{2} = 17237,97 \times \pi \times 4,5 \times 10^{-3} \times 2,25 =$$

$$548,32 \text{ m} \times \text{KN}$$

El momento de la unión virola-suelo debido al peso nominal de la placa del techo más cualquier estructura adjunta,  $M_{DLR}$ , es:

$$M_{DLR} = (Peso_{techo} + Peso_{est,adj}) \times \frac{D_{techo}}{2} = (1086 + 0) \times 2 = 2172 \text{ m} \times Kg =$$

**21,3 m × kN**

A continuación, se va a comprobar las desigualdades de la Fórmula 8. Si se cumplen no sería necesario que el tanque se anclara. En caso contrario, el tanque deberá ir anclado.

$$1- \quad 0,6 \times M_W + M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$0,6 \times 202,37 + 0 = 121,42 \text{ m} \times kN < \frac{167,26}{1,5} + 21,3 = 132,81 \text{ m} \times kN$$

Si cumple

$$2- \quad M_W + F_P \times M_{PI} < (M_{DL} + M_F)/2 + M_{DLR}$$

$$202,37 + 0,4 \times 0 = 202,37 \text{ m} \times kN < \frac{167,26 + 548,32}{2} + 21,3$$

$$= 379,09 \text{ m} \times kN$$

Si cumple

$$3- \quad M_{WS} + F_P \times M_{PI} < \frac{M_{DL}}{1,5} + M_{DLR}$$

$$149,61 + 0,4 \times 0 = 149,61 \text{ m} \times kN < \frac{167,26}{1,5} + 21,3 = 132,81 \text{ m} \times kN$$

No cumple

Dado que la tercera desigualdad no se cumple, **el tanque requiere anclajes.**

Se ponen 8 sillas de anclaje y taco químico.

### 1.2.6 Espacio libre de protección por olas

En los tanques de almacenamiento, en caso de que se produzcan olas por el movimiento del líquido, es importante que estas no lleguen al techo, porque en ese caso, la presión que ejercería el líquido sobre el techo lo rompería. Para lograr esto se sigue el punto E.7.2 del API 650:

Se debe considerar el chapoteo del líquido dentro del tanque para determinar el espacio libre requerido por encima del nivel de líquido. El espacio libre mínimo se proporciona según la tabla E.7. El comprador deberá especificar si desea espacio libre para tanques SUG I. Para los tanques SUG II y SUG III, es obligatorio el espacio libre.

La altura de la ola de chapoteo se puede estimar como:

$$d_s = 0,42 \times D_{tanque} \times A_f$$

*Fórmula 12: Altura de la ola de chapoteo*

Para SUG I y SUG II:

- Cuando  $T_c \leq 4$   $A_f = 2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_o \times I \times \left(\frac{T_s}{T_c}\right)$
- Cuando  $T_c > 4$   $A_f = 2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_o \times I \times \left(\frac{4 \times T_s}{T_c^2}\right)$

Para SUG III:

- Cuando  $T_c \leq T_L$   $A_f = 2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_o \times \left(\frac{T_s}{T_c}\right)$
- Cuando  $T_c > T_L$   $A_f = 2,5 \times K \times Q \times F_a \times S_o \times \left(\frac{T_s \times T_L}{T_c^2}\right)$



**Table E.7—Minimum Required Freeboard**

Value of $S_{DS}$	SUG I	SUG II	SUG III
$S_{DS} < 0.33g$	(a)	(a)	$\delta_s$ (c)
$S_{DS} \geq 0.33g$	(a)	$0.7\delta_s$ (b)	$\delta_s$ (c)

- (a) Se recomienda un espacio libre de  $0.7d_s$  por consideraciones económicas, pero no es obligatorio.
- (b) Se requiere un espacio libre igual a  $0.7d_s$  a menos que se proporcione una de las siguientes alternativas:
- Se proporciona contención secundaria para controlar la salpicadura del producto.
  - El techo y la virola del tanque están diseñados para contener el líquido que salpica.
- (c) Se requiere un espacio libre igual a la altura de la ola,  $d_s$ , a menos que se proporcione alguna de las siguientes alternativas:
- Se proporciona contención secundaria para controlar la salpicadura del producto.
  - El techo y la virola del tanque están diseñados para contener el líquido que salpica.

De datos del cliente se puede calcular:

SUG II y  $T_c \leq 4$

$$A_f = 2.5 \times K \times Q \times F_a \times S_o \times I \times \left( \frac{T_s}{T_c} \right) = 2.5 \times 1.5 \times 1 \times 1.2 \times 0.16 \times 1.25 \times \left( \frac{0.67}{2.21} \right) = 0.273$$

$$d_s = 0.42 \times D_{tanque} \times A_f = 0.42 \times 4.5 \times 0.273 = 0.516 \text{ m}$$

Se entra en la Tabla E.7 con SUG II y  $S_{DS} \geq 0.33g$

Por tanto, dado que el tanque no tendrá ninguna de las protecciones que se aportan como alternativas, el tanque deberá tener un espacio libre de  $0,7d_s$ .

$$\text{Espacio libre} = 0,7 \times d_s = 0,7 \times 0,516 = 0,361 \text{ m} = 361 \text{ mm}$$

**El espacio libre mínimo que se debe dejar por encima del nivel de líquido es de 361 milímetros.**

## **2 ANEXO 2: CÁLCULOS DE LA SITUACIÓN NATURAL DEL TANQUE**

### **2.1 Introducción**

Con el código de diseño API 650, el tanque ya sido diseñado conforme a unos criterios mínimos de seguridad. Estos deben garantizar que el tanque soporte las tensiones generadas por su propio peso, por viento, por nieve o por la presión hidrostática del líquido del interior del tanque.

Para garantizar que el tanque será capaz de soportar las tensiones a las que va a ser sometido en las distintas situaciones que se encontrará. Estas situaciones incluyen tanto la situación natural en la que se encontrará el tanque cuando lo esté utilizando el cliente, que se estudia en este Anexo 2, como en las situaciones más críticas en el momento de ser transportado.

El tanque ha sido modelado mediante SolidWorks. Y para obtener tensiones y desplazamientos se ha hecho uso de una muy útil herramienta de SolidWorks, como es SolidWorks Simulation. Esta herramienta permite realizar análisis estructurales mediante el cálculo por elementos finitos. Y así se puede predecir el comportamiento físico real que tendrá el tanque.

SolidWorks Simulation permite realizar análisis estáticos lineales y no lineales y análisis dinámicos. En este caso, como lo que se busca es conocer las tensiones y los desplazamientos del tanque, se realiza un estudio estático o estudio de tensión. En este, cuando se aplican cargas a la estructura, esta se deforma y el efecto que tienen estas cargas se transmite a través de la estructura. SolidWorks induce reacciones y fuerzas internas a partir de esas fuerzas externas para llevar la estructura a un estado de equilibrio.

El caso que se analiza en este Anexo 2, se trata de la situación natural en la que se va a encontrar el tanque la mayor parte de su vida útil. Es el estado en el que el tanque está siendo usado por la empresa compradora en Jorf Lasfar.

Como es lógico, una de las cargas que ha de soportar el tanque es la de su peso propio debido a la gravedad. La otra de las cargas es la presión hidrostática que ejercerá el líquido en el interior del tanque.

## 2.2 Datos generales

### 2.2.1 Modelado del tanque

Para hacer el modelado del tanque se ha utilizado SolidWorks. En la Figura 42 se puede observar el entorno de SolidWorks Simulation.

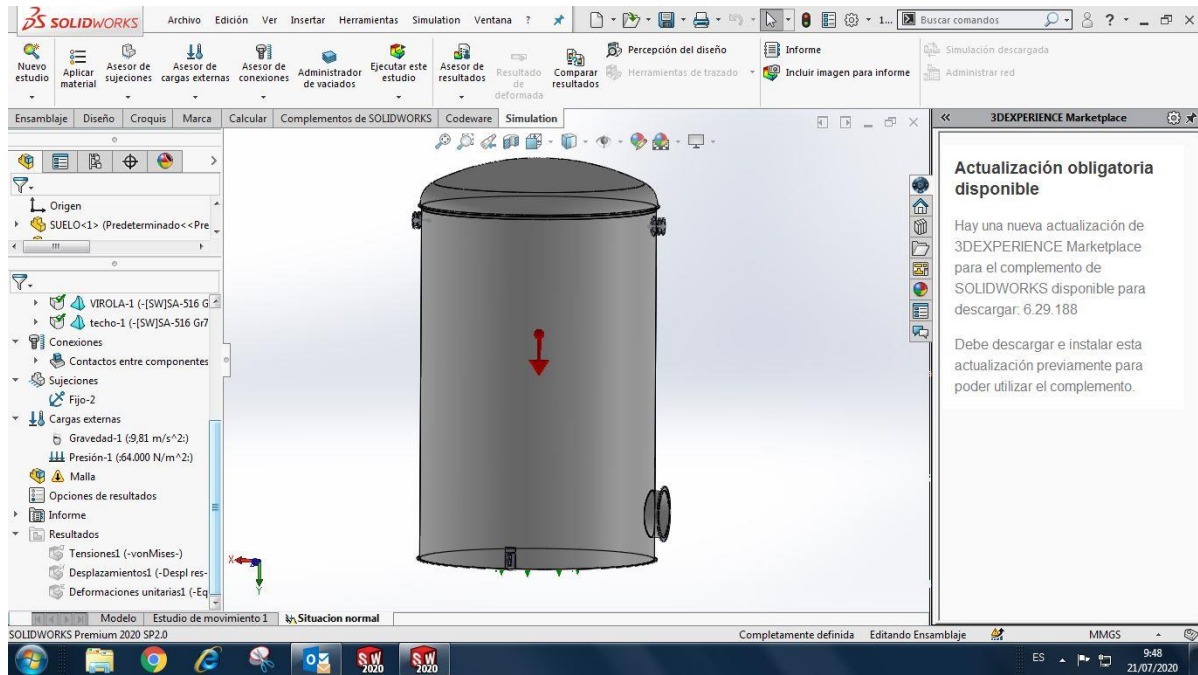


Figura 42: Entorno de SolidWorks Simulation

Para el modelado del tanque, se han obviado elementos. Como se puede apreciar en la Figura 43 donde se muestra el tanque a simular, no están la mayoría de las tubuladuras.

Esta decisión se apoya fundamentalmente en 2 motivos:

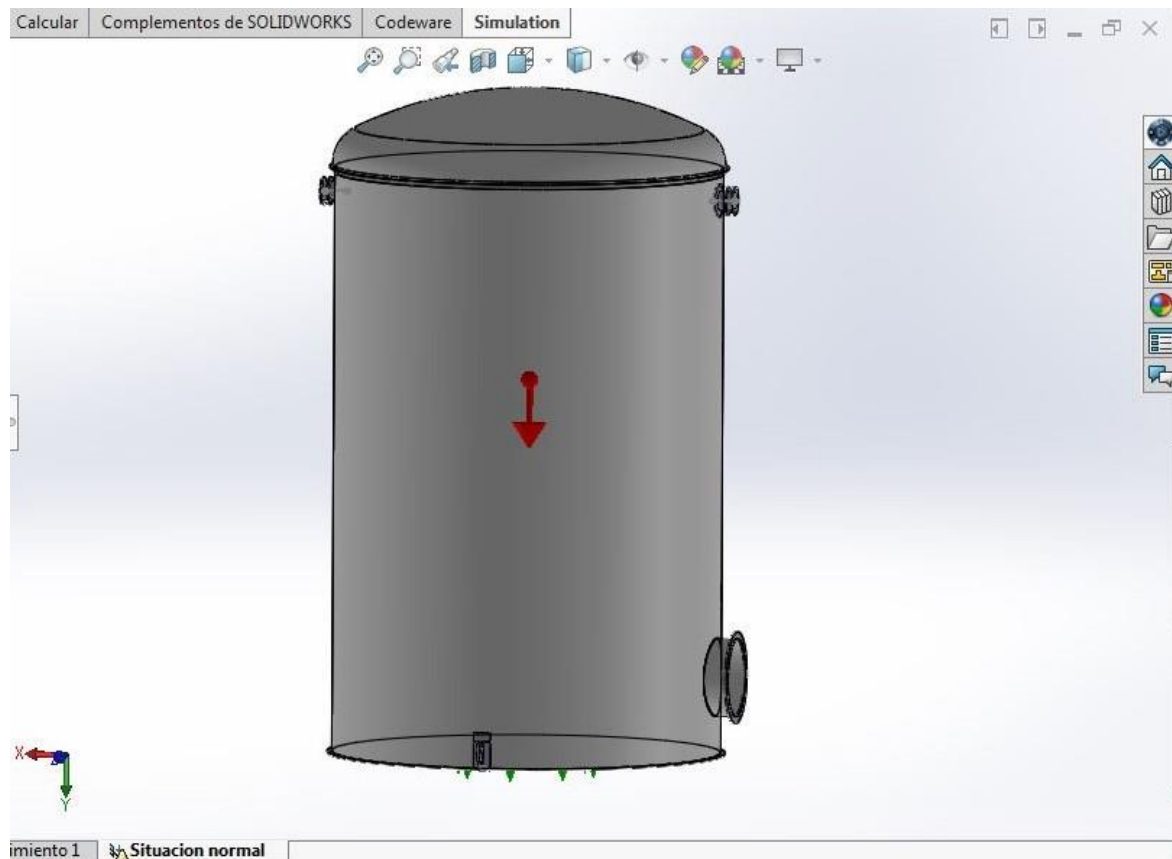
- El primero es que las tubuladuras suponen una muy pequeña masa del tanque si se compara con la virola, techo, etc., por tanto, la tensión que se va a generar en estos tubos va a ser pequeña.
- El segundo tiene que ver con el mallado. El cálculo por elementos finitos, divide toda la pieza en pequeños triángulos y calcula la tensión y deformación en cada 1 de ellos. Estos triángulos no deben estar en la unión entre 2 objetos de la pieza

que estén unidos. Es por esto que, si se ponen todas las tubuladuras, el mallado que requeriría la pieza sería de triángulos exageradamente pequeños, lo cual provocaría horas e incluso días de cálculo para el ordenador para cada 1 de los casos de los anexos.

Los elementos que sí se han modelado con el tanque han sido:

- La tubuladura y el tubo más grandes del tanque con su brida. Se pueden observar en la Figura 43, en la parte inferior derecha.
- Los 2 trunios de izado, que se utilizarán para izar el tanque mediante cadenas y así poder elevarlo para depositarlo en el camión que lo transportará. Se pueden observar en la Figura 43, a los 2 lados de la parte superior.
- La orejeta, que igual que los trunios de izado servirá para elevar el tanque con cadenas. Se puede observar en la Figura 43, en la parte inferior central.
- El techo, la virola y el suelo.
- Y el angular de coronación, que es el saliente que está en la unión del techo con la virola.

El tanque que se ha modelado para esta situación se puede observar en la Figura 43:



*Figura 43: Tanque modelado en SolidWorks para su situación natural*

### **2.2.2 Materiales**

El primer paso en SolidWorks Simulation es definir los materiales de cada una de las partes que conforman la pieza. Conociendo el material, se conoce también el límite elástico y esto permitirá conocer si las tensiones que se den en el tanque son soportables o no. Los materiales seleccionados en SolidWorks Simulation para cada una de las partes se pueden ver en las Figuras de la 44 a la 51.

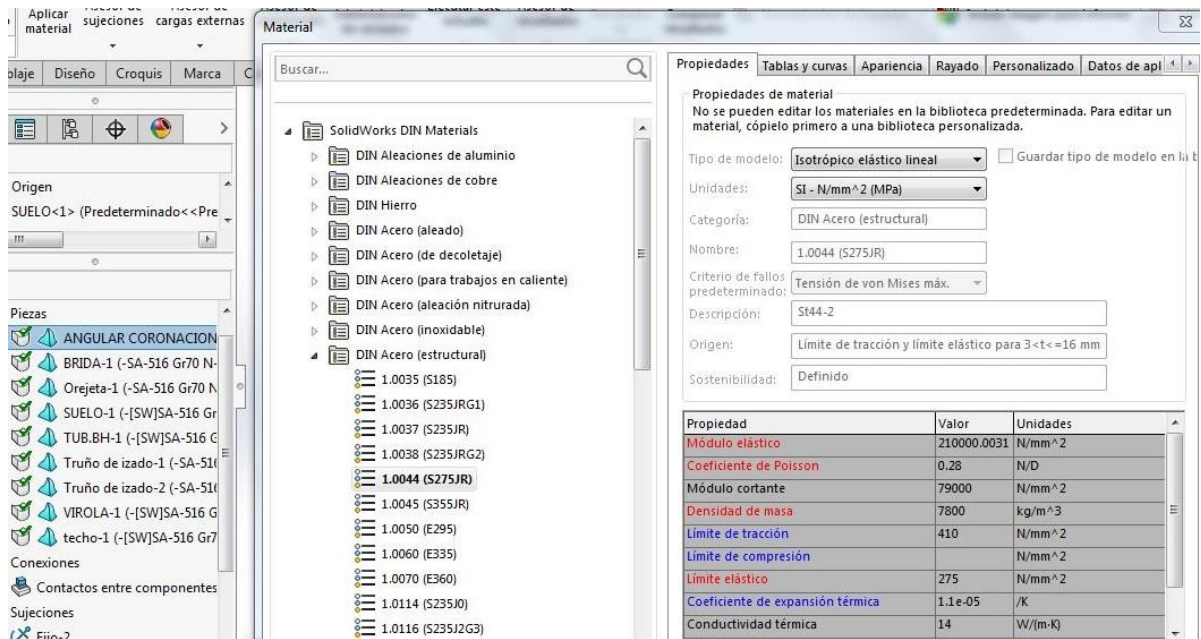


Figura 44: Material del angular de coronación

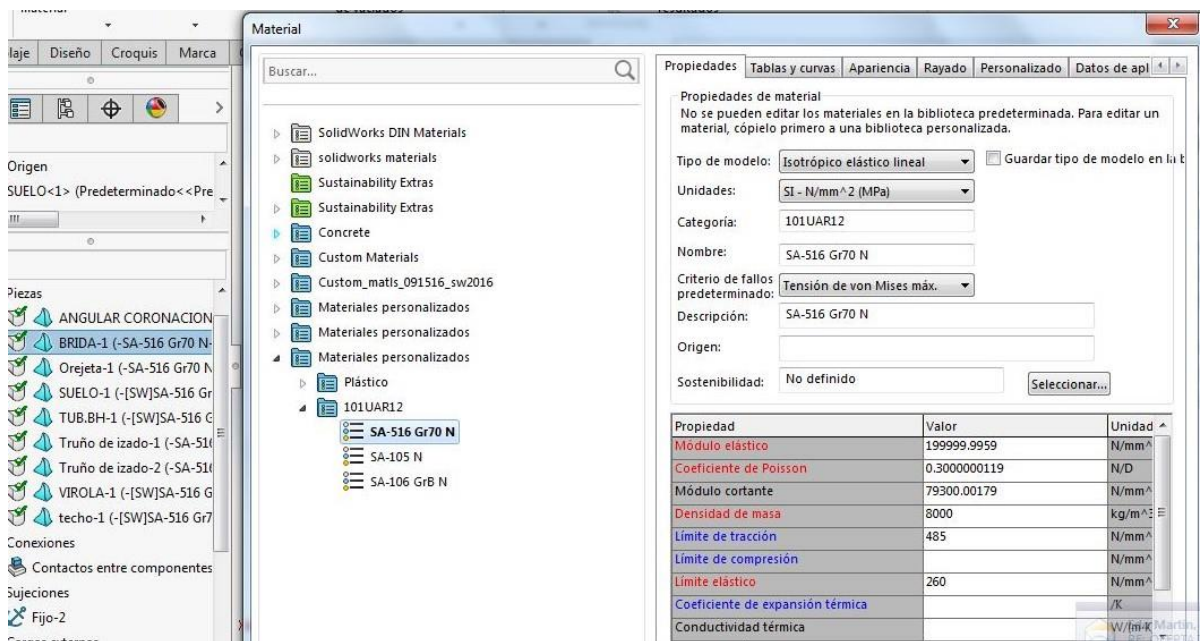


Figura 45: Material de la brida del tubo



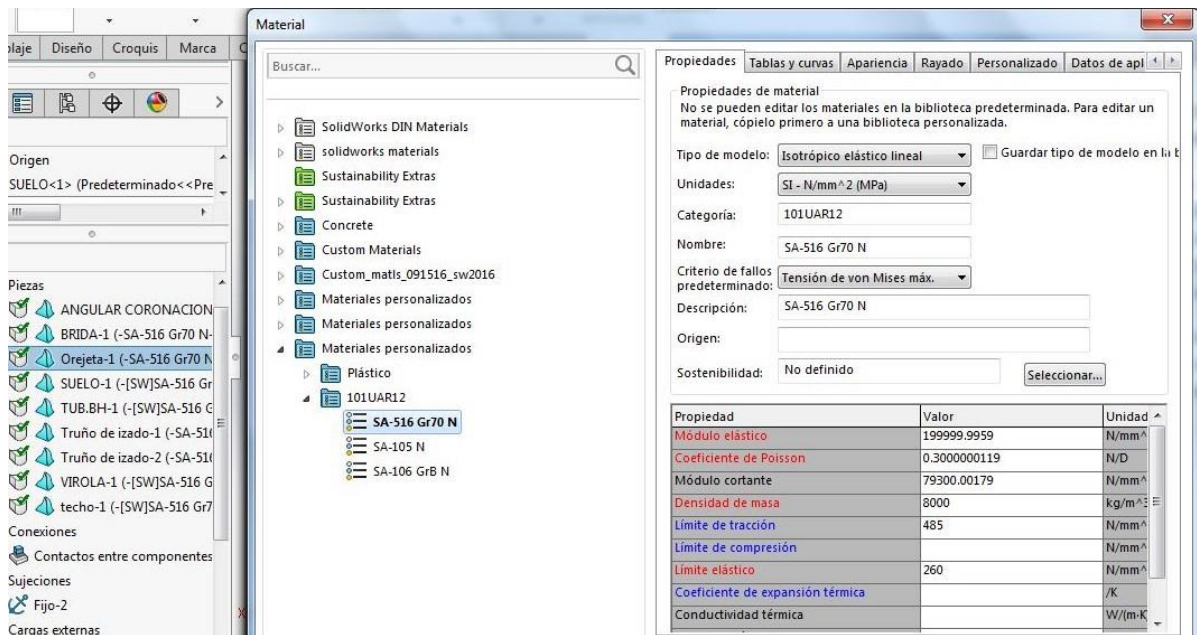


Figura 46: Material de la orejeta

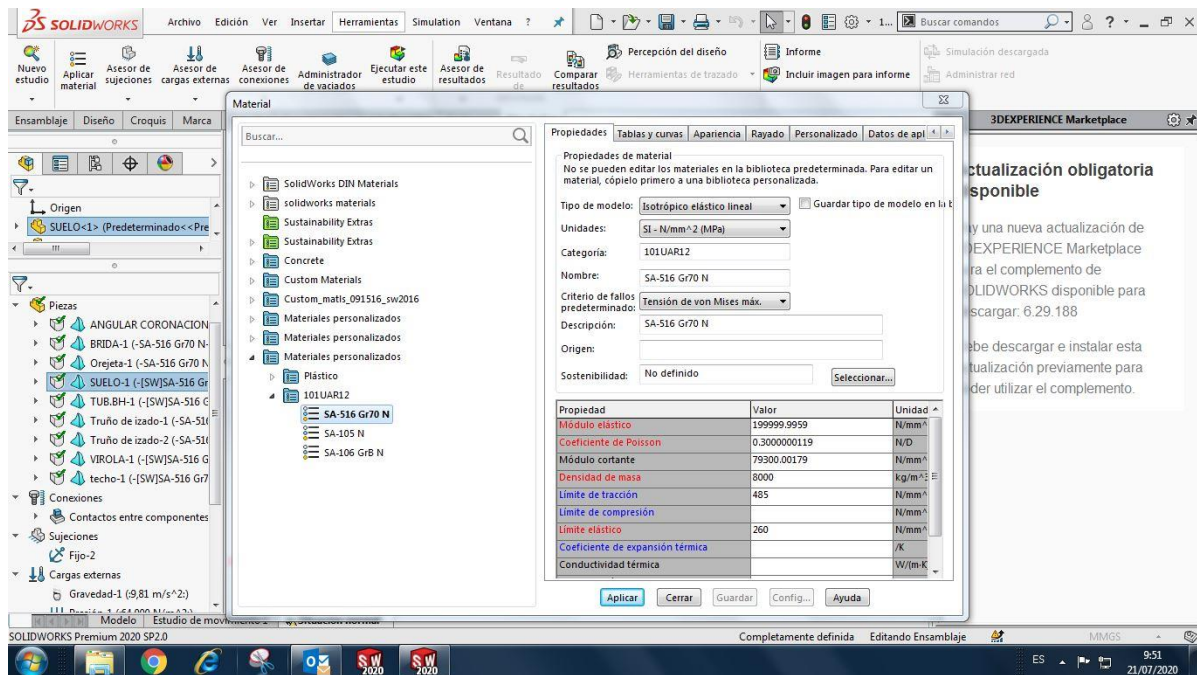


Figura 47: Material del suelo

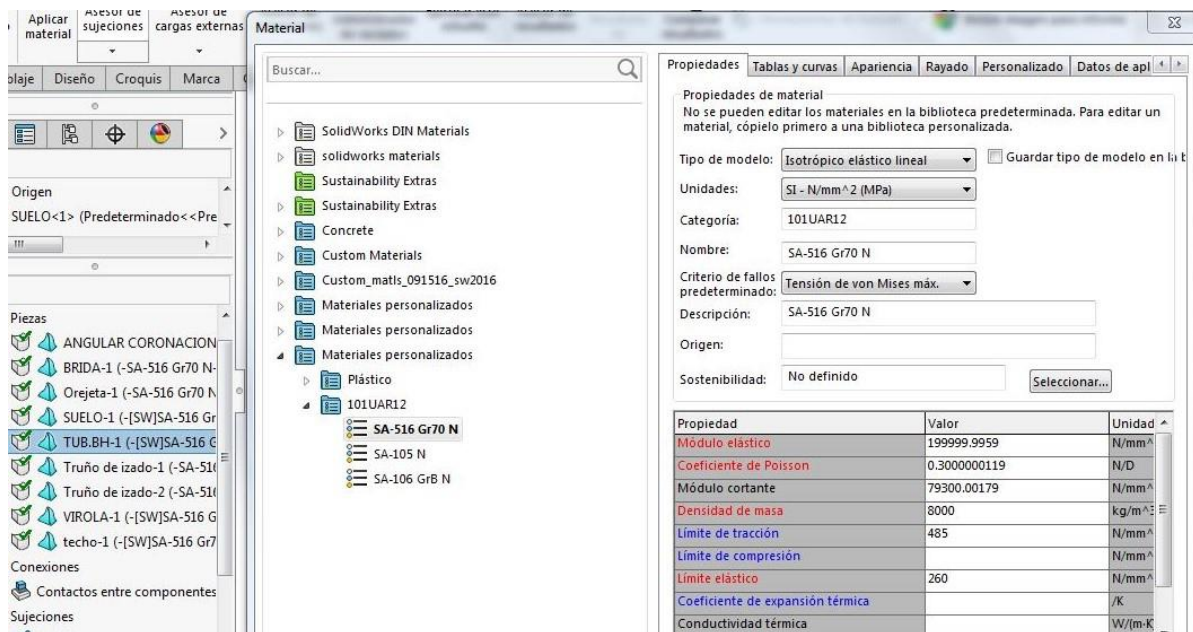


Figura 48: Material del tubo

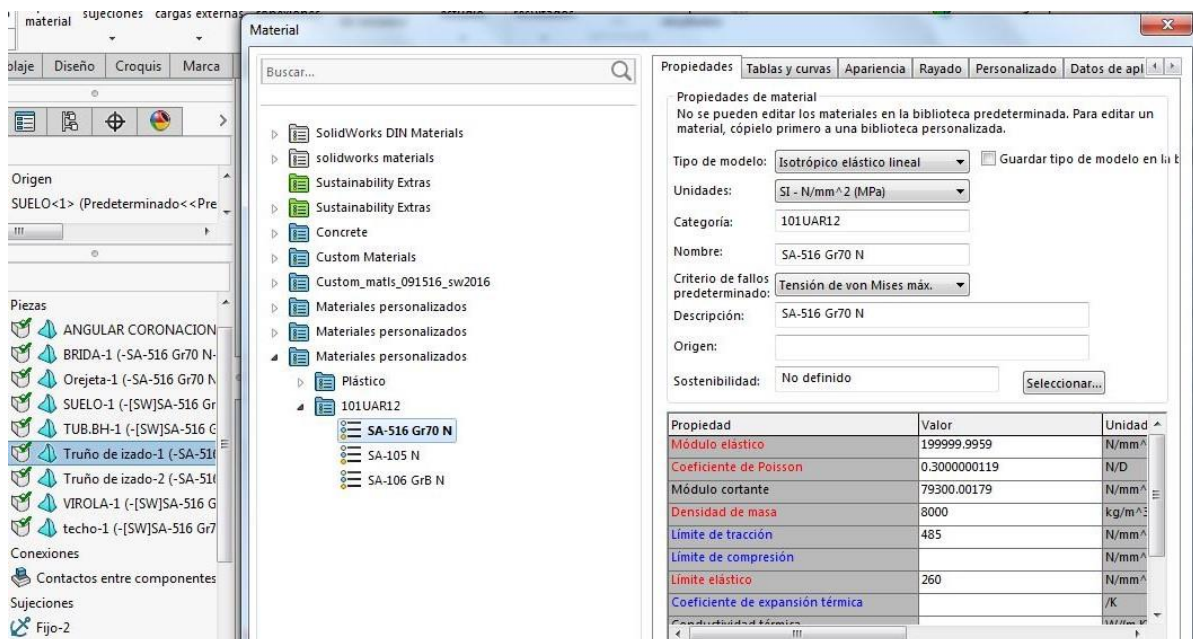


Figura 49: Material de los trunios de izado

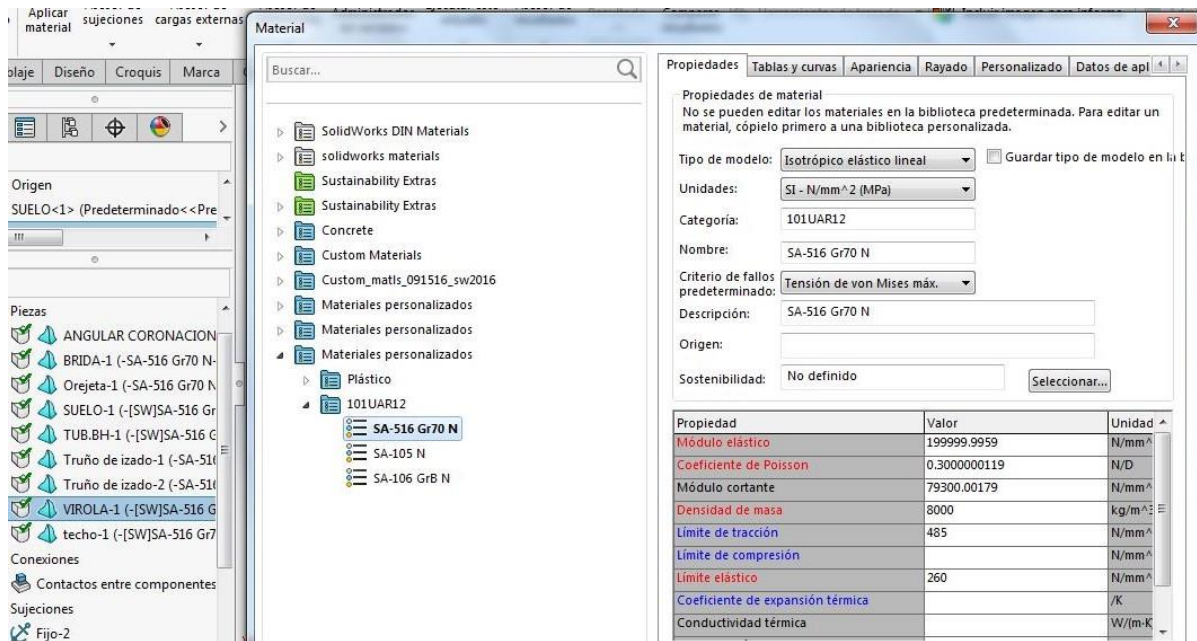


Figura 50: Material de la virola

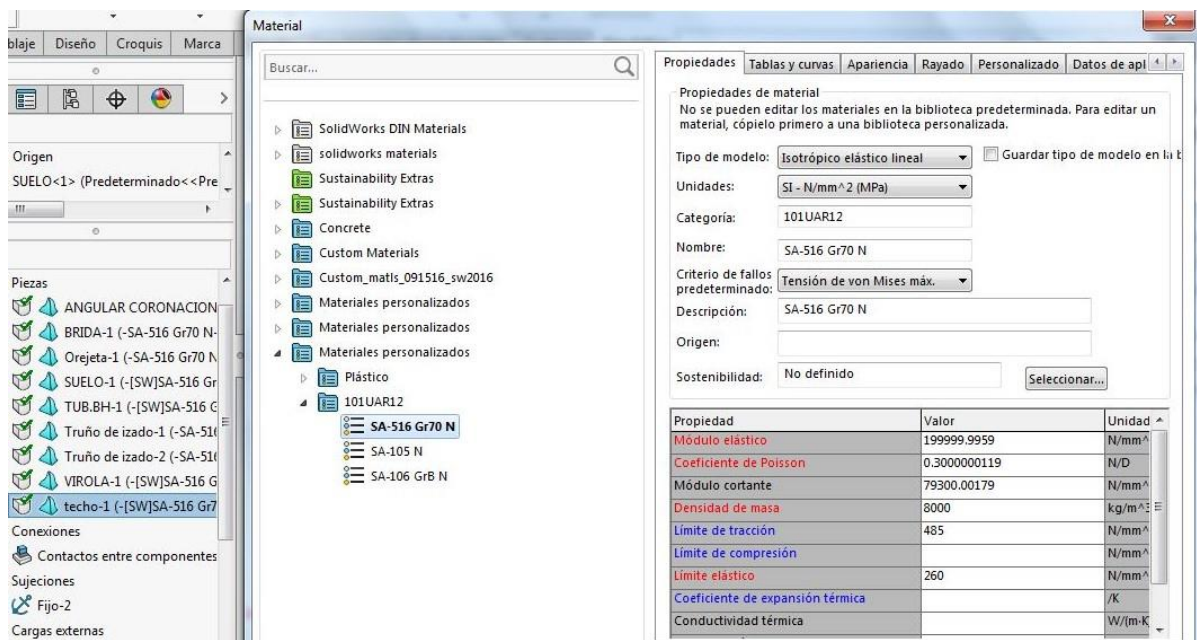


Figura 51: Material del techo

Como se puede observar en las Figuras de la 44 a la 51, todas las partes del tanque excepto el angular de coronación, están hechas de acero al carbono A516 – Grado 70. Este es el material que requiere el cliente.

Las propiedades del acero al carbono A516 – Grado 70 se detallan en la Tabla 4:

<b>Límite elástico (N/m<sup>2</sup>)</b>	2,6×10 <sup>8</sup>
<b>Límite de tracción (N/m<sup>2</sup>)</b>	4,85×10 <sup>8</sup>
<b>Módulo elástico (N/m<sup>2</sup>)</b>	2×10 <sup>11</sup>
<b>Coeficiente de Poisson</b>	0,3
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	8000
<b>Módulo cortante (N/m<sup>2</sup>)</b>	7,93×10 <sup>10</sup>

*Tabla 4: Propiedades del acero al carbono A516 – Grado 70*

Por otro lado, el angular de coronación será del acero al carbono S275JR. Un acero al carbono más común que el anterior.

Las propiedades del acero al carbono S275JR se detallan en la Tabla 5:

<b>Límite elástico (N/m<sup>2</sup>)</b>	2,75×10 <sup>8</sup>
<b>Límite de tracción (N/m<sup>2</sup>)</b>	4,1×10 <sup>8</sup>
<b>Módulo elástico (N/m<sup>2</sup>)</b>	2,1×10 <sup>11</sup>
<b>Coeficiente de Poisson</b>	0,28
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	7800
<b>Módulo cortante (N/m<sup>2</sup>)</b>	7,9×10 <sup>10</sup>

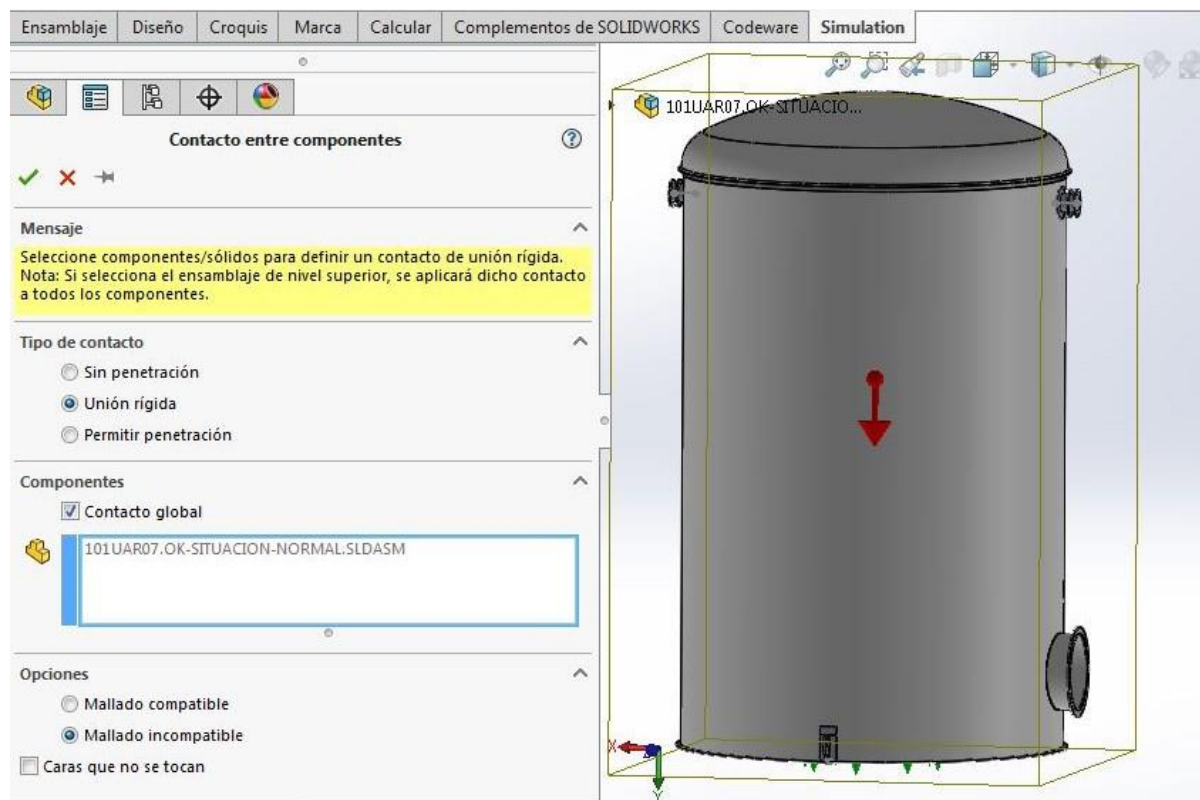
*Tabla 5: Propiedades del acero al carbono S275JR*



Como se puede observar si se comparan ambos materiales, tienen unas propiedades similares. El límite elástico es de las propiedades más importantes porque es la tensión máxima que resiste un material sin sufrir deformación permanente. Con estos valores de límite elástico, se podrá observar si las tensiones generadas en el tanque son aceptables o no.

### 2.2.3 Conexiones

Las conexiones se refieren al tipo de contacto que hay entre los componentes de la pieza. Es decir, al cómo se unen las diferentes partes. Las conexiones establecidas en SolidWorks se pueden ver en las Figuras 52:

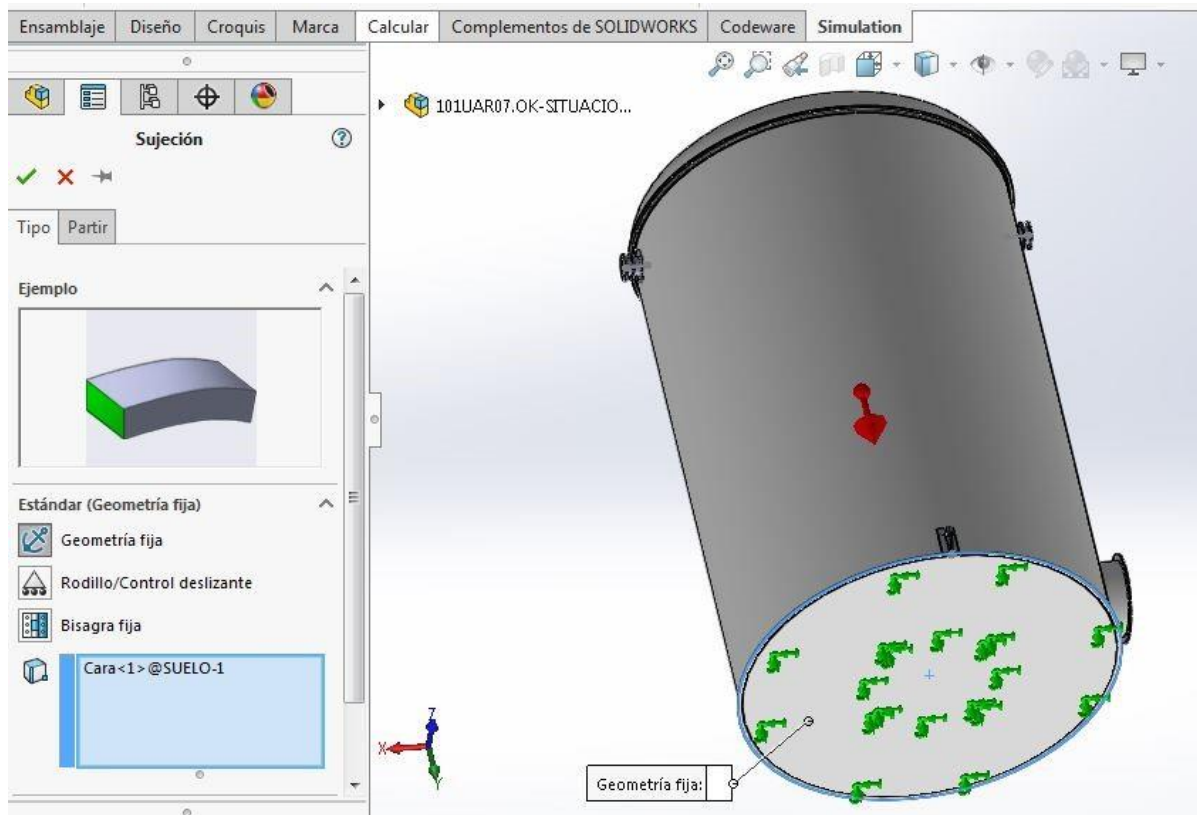


*Figura 52: Tipo de conexión entre componentes del tanque para su situación natural*

Como se puede observar en la Figura 52, el tipo de conexión entre componentes que se ha escogido ha sido el de unión rígida. Esto se debe a que todas esas uniones entre componentes, serán soldadas en la fabricación del tanque.

#### 2.2.4 Sujeciones externas

Las sujeciones externas se refieren a los apoyos del tanque. El apoyo definido en SolidWorks para esta situación se puede ver en la Figura 53:



*Figura 53: Apoyos del tanque para su situación natural*

Como se puede observar en la Figura 53, tan solo se establece 1 único que apoyo, que lógicamente en la situación natural del tanque, será anclado al suelo por la parte inferior del tanque.

### 2.2.5 Cargas externas

Las cargas externas que recibe el tanque en su situación natural son 2:

- Por un lado, está el peso propio del tanque debido a la acción de la gravedad.
- Por otro lado, está la presión hidrostática del agua sobre el fondo (sobre el suelo) y sobre las paredes del tanque (sobre la virola). En este punto se va a hacer una simplificación y eliminar la presión hidrostática sobre las paredes. Esta presión sobre las paredes desciende a medida que aumenta la altura del tanque, a diferencia de la presión sobre el fondo que es máxima e igual en todos sus puntos. Es por esto que, se hace la simplificación de eliminar la presión sobre las paredes ya que la tensión que se genere en estas será, lo más probable, inferior a la tensión del suelo.

La presión hidrostática en el fondo se obtiene en primer lugar calculando el volumen de líquido que hay dentro del tanque:

La altura de la virola es de 6,8 metros, pero se ha calculado que se requiere un espacio libre de 0,361 metros. Si se aproxima a 0,4 metros queda una altura de líquido de:

$$Altura_{líquido} = H_{virola} - Espacio_{libre} = 6,8 - 0,4 = 6,4 \text{ m}$$

$$Volumen_{líquido} = Área \times Altura_{líquido} = \pi \times R_{tanque}^2 \times Altura_{líquido} = \pi \times 2,25^2 \times 6,4 = 101,7876 \text{ m}^3$$

Para obtener la masa hay que multiplicar por la densidad, que se va a suponer la del agua de 1000 kg/m<sup>3</sup>, ya que será similar con la disolución de NaOH:

$$Masa_{líquido} = Volumen_{líquido} \times Densidad_{líquido} = 101,7876 \text{ m}^3 \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 101786,6 \text{ Kg}$$

Una vez que se tiene la masa, para obtener la fuerza basta con utilizar la fórmula de  $F = m \times a$ , se va a suponer que la aceleración de la gravedad es de  $10 \text{ m/s}^2$ :

$$Fuerza = Masa_{liquido} \times gravedad = 101786,6 \times 10 = 1017866 \text{ N}$$

Para obtener la presión hay que dividir la fuerza por el área. En este caso el área es el fondo del tanque:

$$Presión_{hidrostática,fondo} = \frac{Fuerza}{Área_{fondo}} = \frac{1017866}{\pi \times 2,25^2} = 64000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Cabe recordar que según el código de diseño API 650, el tanque se ha diseñado para soportar estas cargas y por tanto esto se trata de una comprobación.

La aplicación de estas cargas externas en SolidWorks Simulation se puede ver en las Figuras 54 y 55:

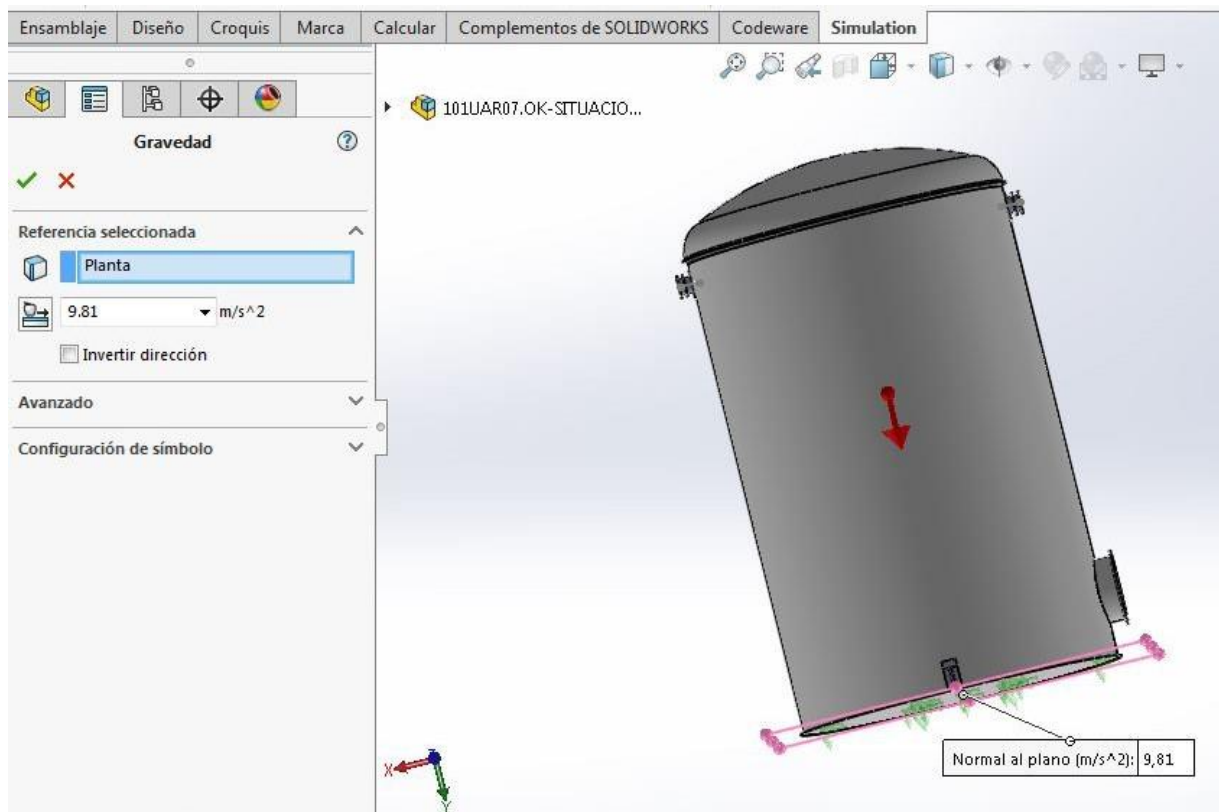
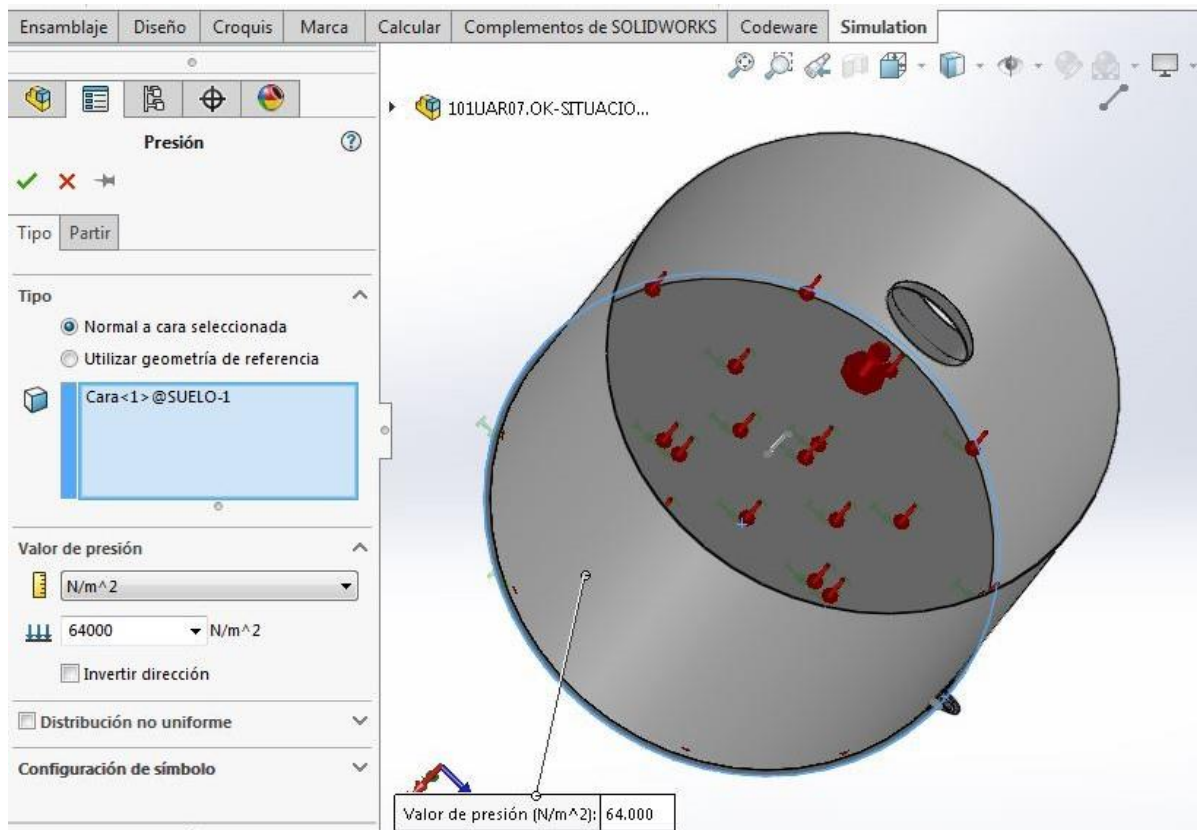


Figura 54: Carga externa de peso propio para situación natural del tanque





*Figura 55: Carga externa de presión hidrostática sobre el suelo para situación natural del tanque*

En la Figura 55, se ve el tanque cortado para que se pueda apreciar que la carga actúa en el fondo del tanque por el interior.

## 2.2.6 Mallado

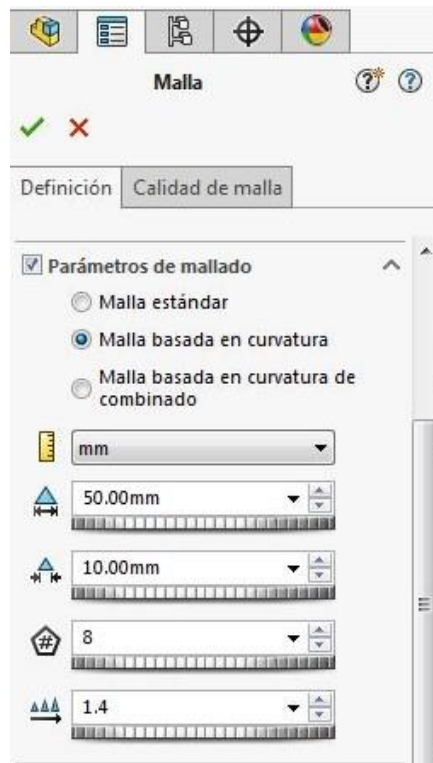
Lo último antes de que se puedan calcular las tensiones y los desplazamientos generados por esta situación, es el mallado. En el mallado se divide la estructura en pequeñas formas simples (elementos) que serán triángulos, que están conectados por puntos comunes (nodos). El resultado es una red de elementos finitos interconectados que va a permitir el cálculo mediante el método de elementos finitos.

Los parámetros de la malla están detallados en la Tabla 6:

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos para malla de alta calidad</b>	16 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	50 mm
<b>Tamaño mínimo de elemento</b>	10 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Número total de nodos</b>	749542
<b>Número total de elementos</b>	373221
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	1353,2
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	2,72 %
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	1,32 %
<b>Porcentaje de elementos distorsionados</b>	0

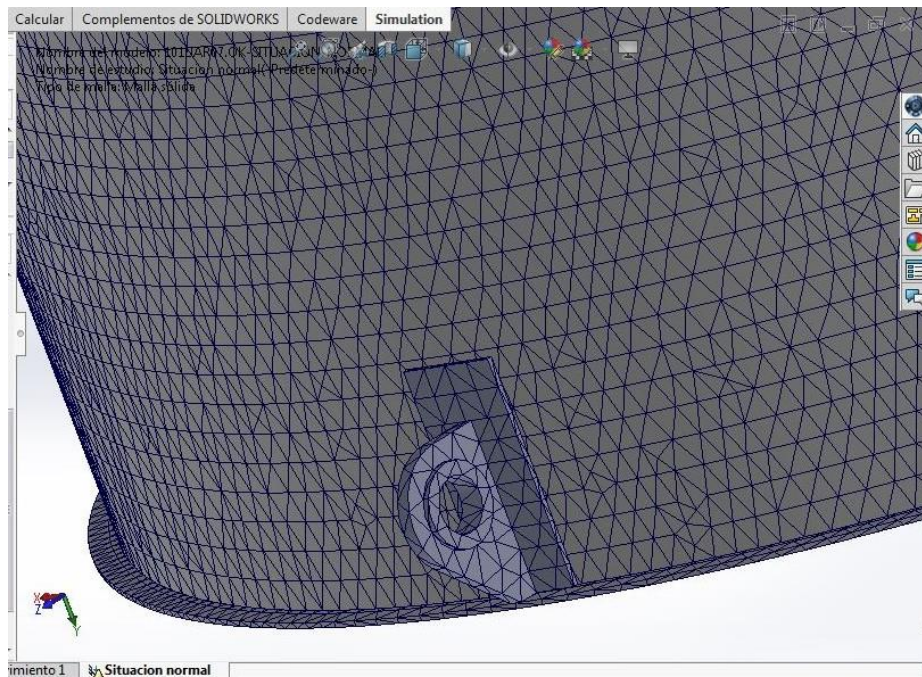
*Tabla 6: Parámetros e información de malla del tanque para su situación natural*

El mallado se hace en parte automáticamente, pero se pueden modificar algunos parámetros, como se puede ver en la Figura 56:



*Figura 56: Parámetros elegidos para malla del tanque para su situación natural*

En las Figuras de la 57 a la 61 se puede observar el resultado final de la malla creada:



*Figura 57: Mallado del tanque en situación natural. Vista de parte inferior y orejeta*



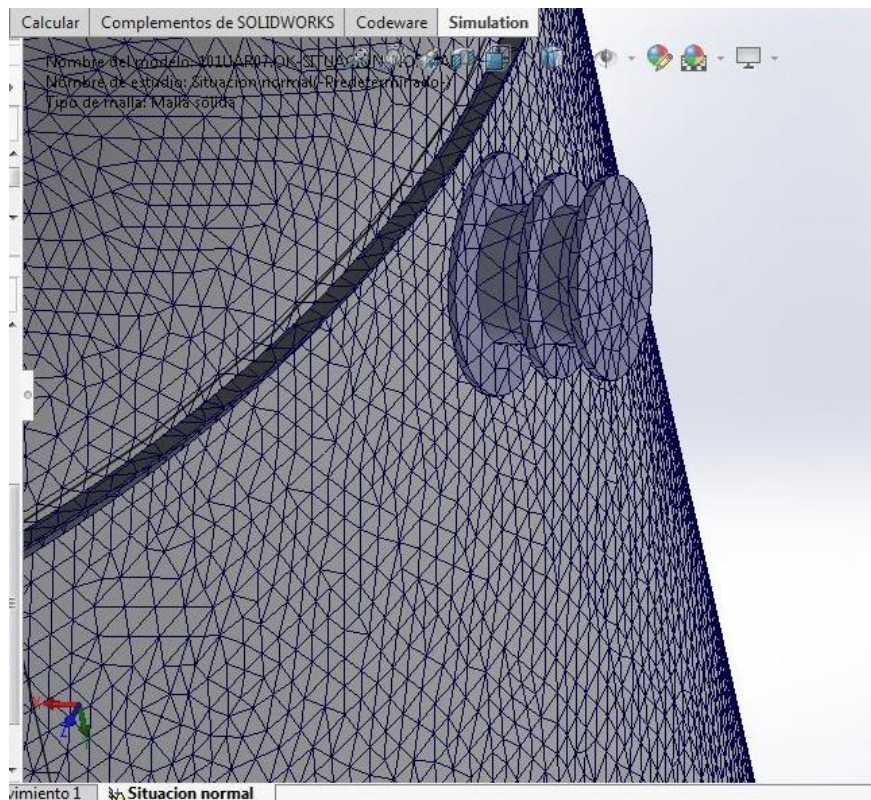


Figura 58: Mallado del tanque en situación natural. Vista de parte superior y trunio de izado

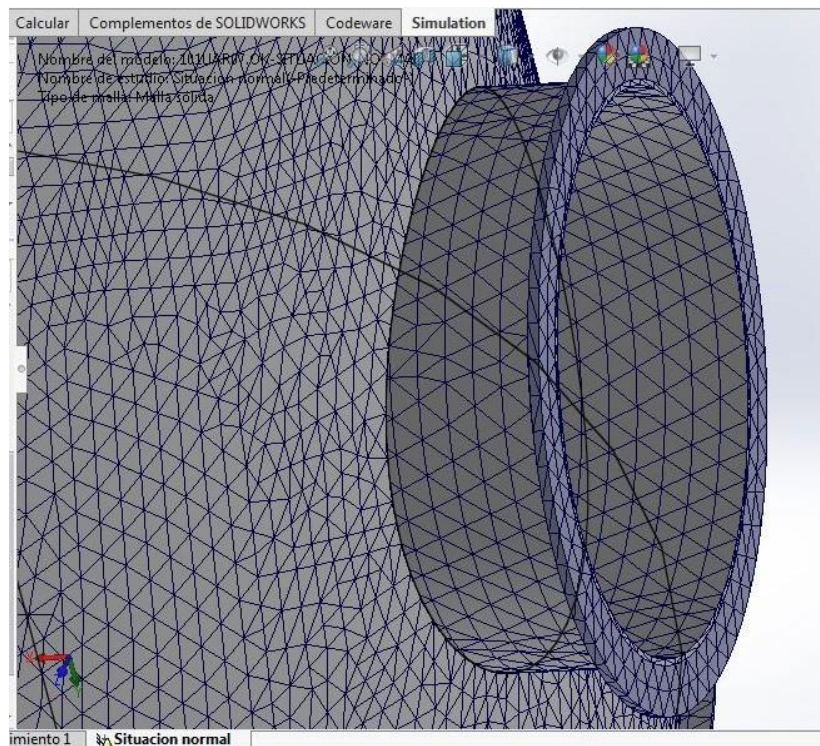
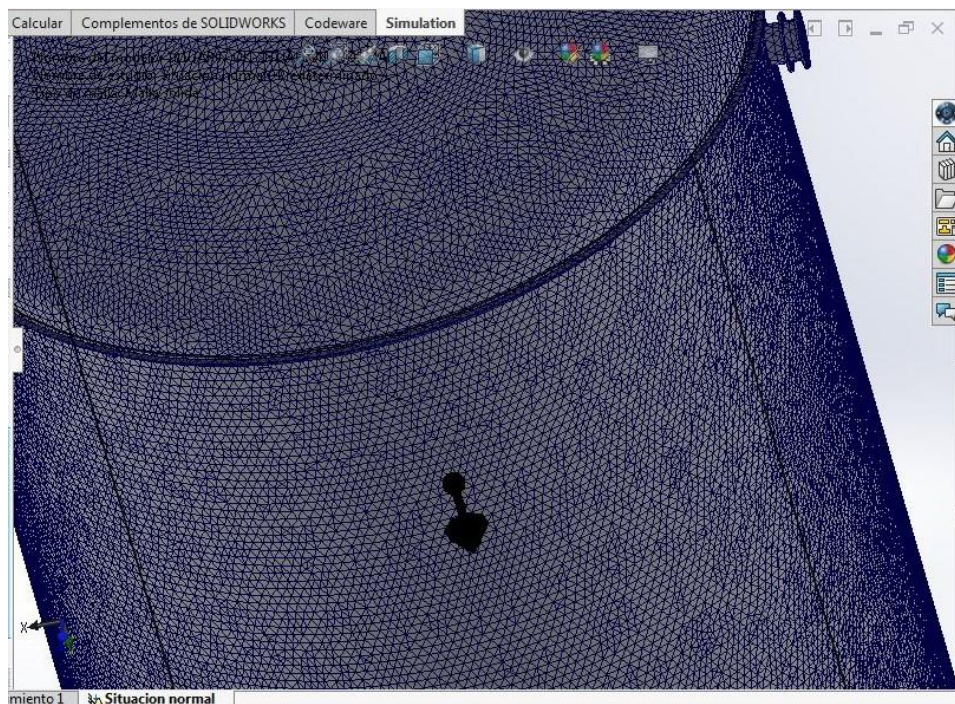
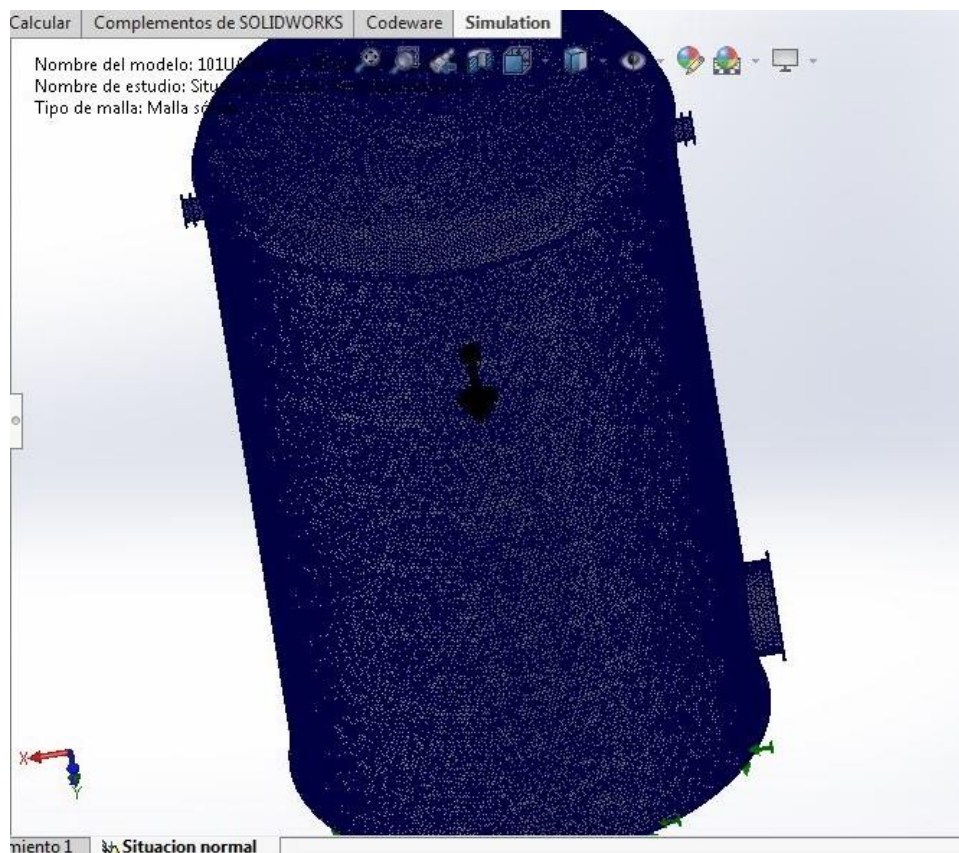


Figura 59: Mallado del tanque en situación natural. Vista de tubo y brida





*Figura 60: Mallado del tanque en situación natural. Vista global de parte superior*



*Figura 61: Mallado del tanque en situación natural. Vista global*

## 2.3 Resultados

### 2.3.1 Tensiones

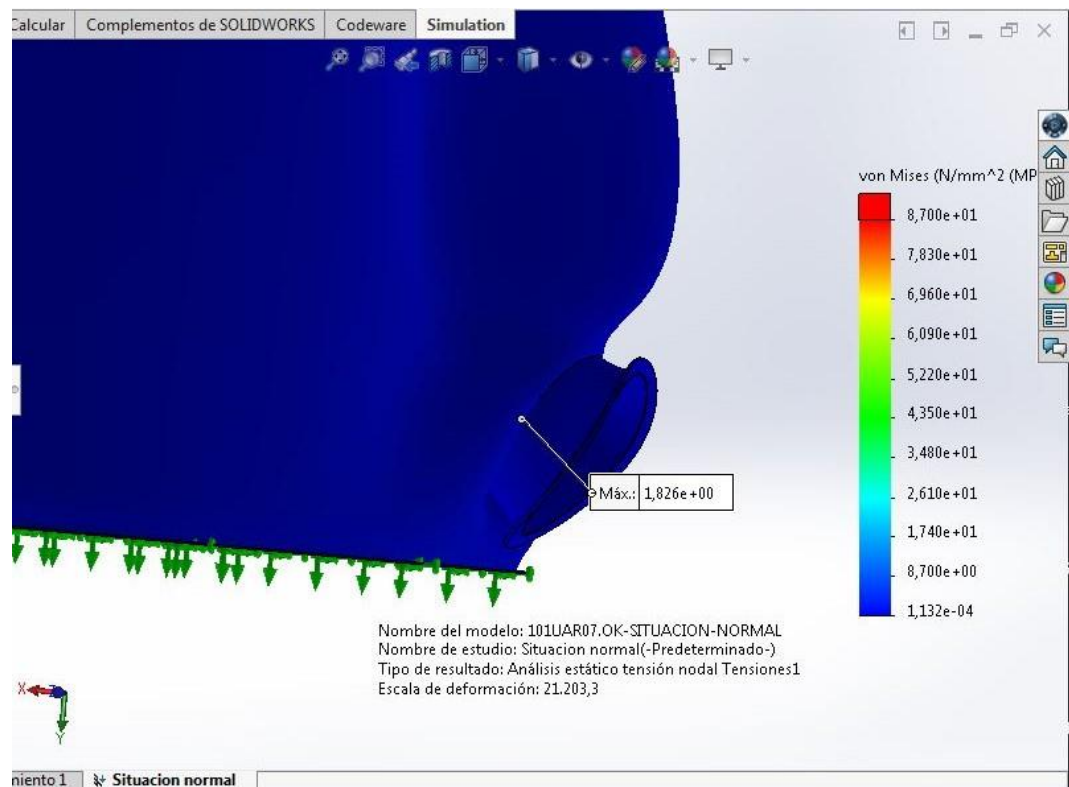
Tras ejecutar el modelo con todo lo establecido en el punto anterior (2.2 Datos generales), SolidWorks Simulation calcula las tensiones de Von Mises y los desplazamientos de cada uno de los nodos. Este proceso tarda un tiempo.

Los resultados de la tensión de Von Mises máxima y mínima se pueden ver en la Tabla 7:

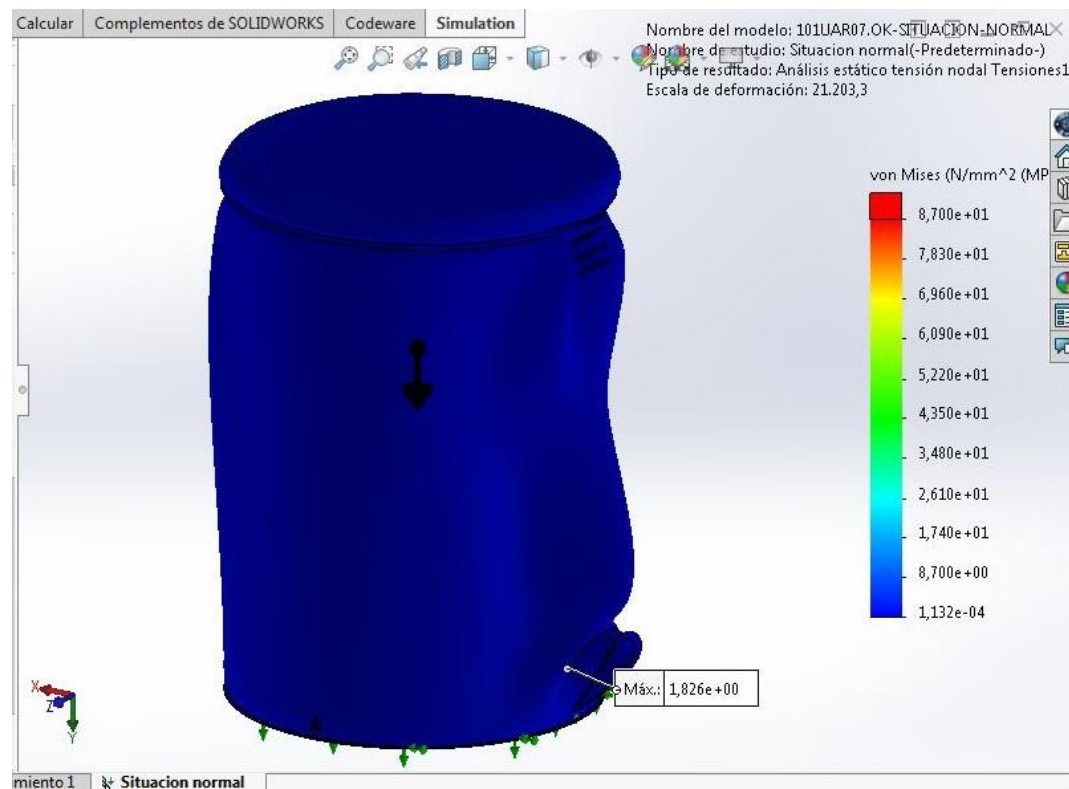
<b>Tensión de Von Mises mínima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	1,132×10 <sup>-4</sup>
<b>Tensión de Von Mises máxima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	1,826

*Tabla 7: Tensión de Von Mises máxima y mínima del tanque en situación natural*

Además, en las Figuras 7, 8 y 9 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más tensión sufren. Para el modelo coloreado de tensiones SolidWorks Simulation, por algún error que desconozco, no pudo hacer una buena escala de colores. Pero aun así se puede apreciar el nodo de máxima tensión de Von Mises.

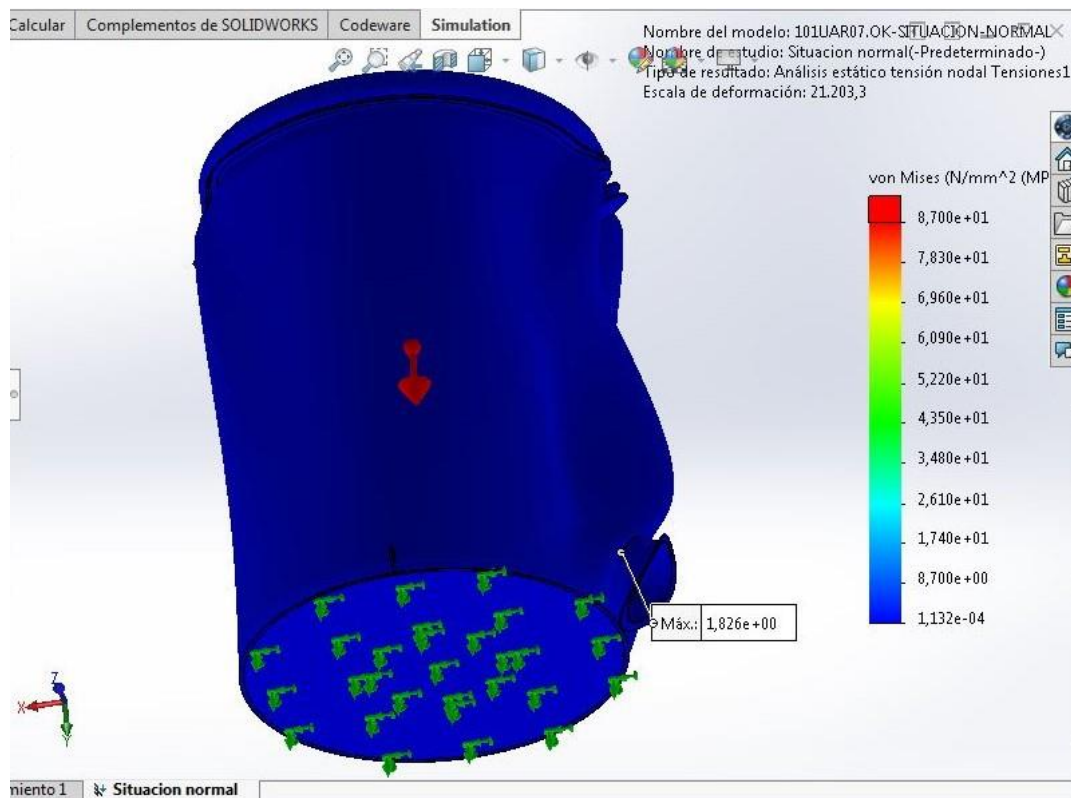


*Figura 7: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural*



*Figura 8: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural*





*Figura 9: Tensiones de Von Mises del tanque en situación natural*

Una vez que se tiene la máxima tensión de Von Mises, se puede hacer la comprobación del límite elástico. Para ello se va a utilizar el criterio de máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises:

Se puede decir que una estructura falla cuando en cualquiera de sus puntos, la tensión de Von Mises supera al límite elástico del material de la estructura, Fórmula 13:

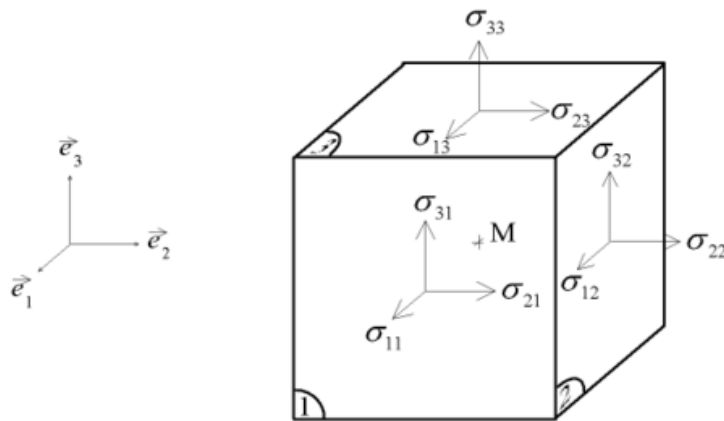
$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

*Fórmula 13: Criterio de Von Mises para fallo en términos de tensión*

Donde:



- $\sigma_{VM}$  es la tensión de Von Mises, una magnitud proporcional a la energía de distorsión, se mide en  $N/m^2$
- $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  son las tensiones principales en el punto a analizar, se miden en  $N/m^2$
- $\sigma_Y$  es la tensión límite elástico del material de la estructura, se mide en  $N/m^2$



*Figura 6: Representación gráfica del tensor de tensiones principales*

En este caso, el software de SolidWorks Simulation calcula las tensiones de Von Mises de cada 1 de los 749542 nodos en los que se ha dividido el tanque. Además, te especifica en cuál de ellos se da la mayor tensión de Von Mises. Aquí se puede observar la gran ayuda que supone el cálculo informático. Calcular a mano 1 solo punto supone el cálculo de muchas tensiones para acabar obteniendo la de Von Mises.

A continuación, se va a comprobar si el tanque falla o no para la situación de este Anexo 2, para su situación natural. En el apartado “2.2.2 Materiales”, se detallan los materiales y por tanto sus características como el límite elástico. El angular de coronación está hecho de acero al carbono S275JR y tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto del tanque está hecho de acero al carbono A516 – Grado 70 y tiene un límite elástico de 260 MPa.

Según la Fórmula 13 queda claro que el tanque no fallará en caso de que la mayor tensión de Von Mises que tenga que soportar sea menor a la tensión límite elástico del

material del tanque. La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 1,826 MPa y como se puede apreciar en la Figura 7, se da cerca de uno de los puntos de unión entre virola y tubo. Es por esto que el límite elástico con el que se debe comparar es el de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 1,826 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

Como se puede ver, el tanque no falla. Y para cualquier punto del angular de coronación también se sabe que no fallará ya que la tensión de Von Mises es menor de 1,826 MPa y la tensión límite elástico es de 275 MPa.

Se puede apreciar a simple vista que soporta esa tensión de manera holgada. Para magnificar esto, se va a calcular el factor de seguridad. Este aporta información sobre cuantas veces más tendría que ser mayor la tensión de Von Mises para que la estructura falle:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{1,826 \text{ MPa}} = 142,39$$

Sería necesaria aplicar una tensión de Von Mises 142,39 veces mayor para que el tanque en esta situación fallase.

**Conclusión: El tanque en su situación natural no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. El tanque soporta una tensión de Von Mises máxima de 1,826 MPa, que se encuentra cerca de la unión entre el tubo y la virola, y tiene un factor de seguridad de 142,39.**

### 2.3.2 Desplazamientos

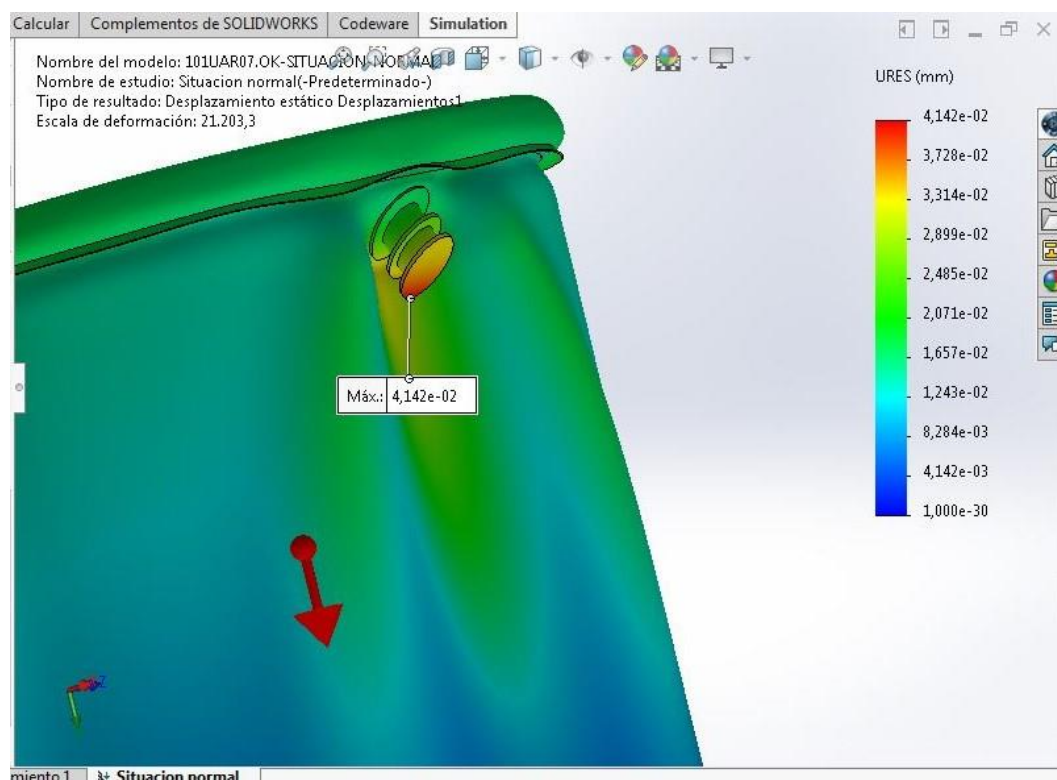
Además de las tensiones de Von Mises, SolidWorks Simulation calcula los desplazamientos de cada 1 de los nodos.

Los resultados del desplazamiento máximo y mínimo se pueden ver en la Tabla 8:

Desplazamiento mínimo (mm)	0
Desplazamiento máximo (mm)	$4,142 \times 10^{-2}$

*Tabla 8: Desplazamientos máximo y mínimo del tanque en situación natural*

Además, en las Figuras 10, 11, 12 y 13 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más se desplazan. El área de colores va de rojo, en torno a 0,04 milímetros, a azul oscuro, cerca de 0 milímetros.



*Figura 10: Desplazamientos del tanque en situación natural*

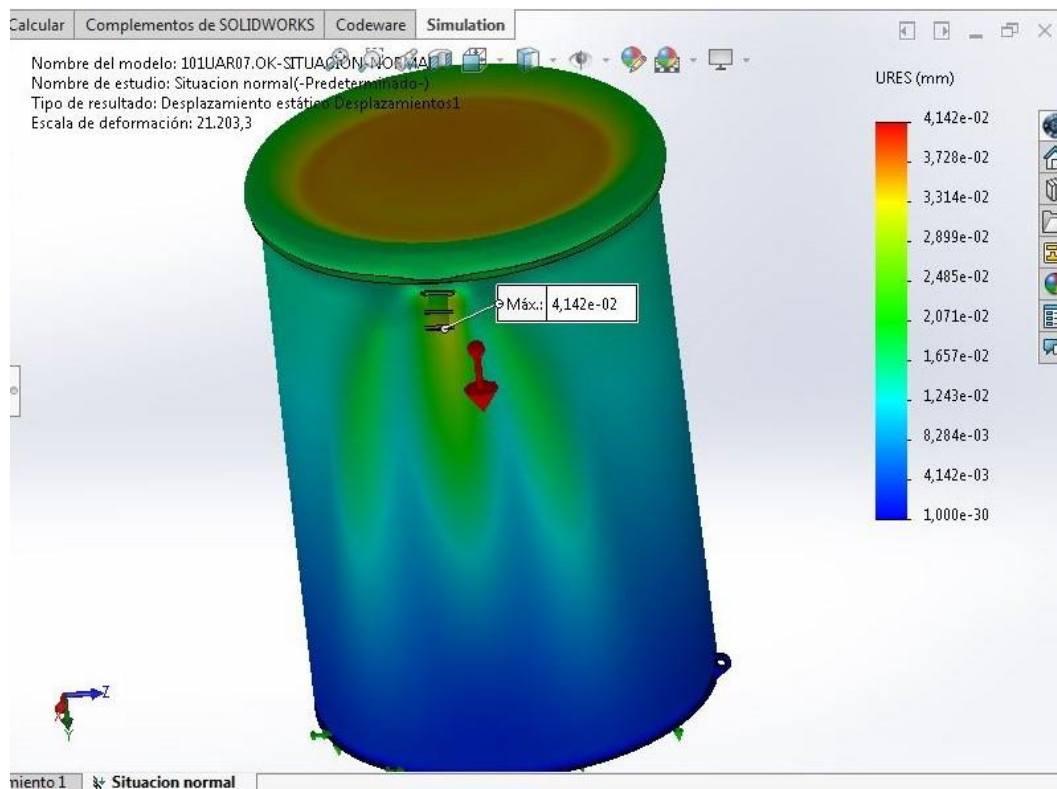


Figura 11: Desplazamientos del tanque en situación natural

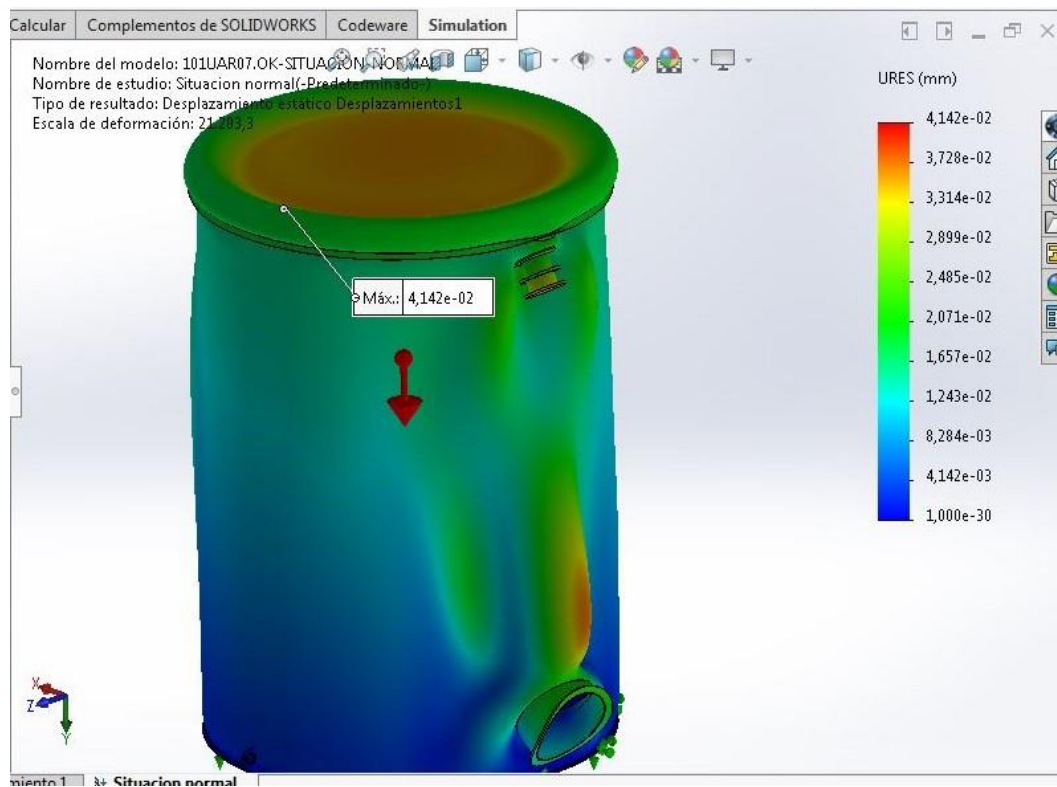
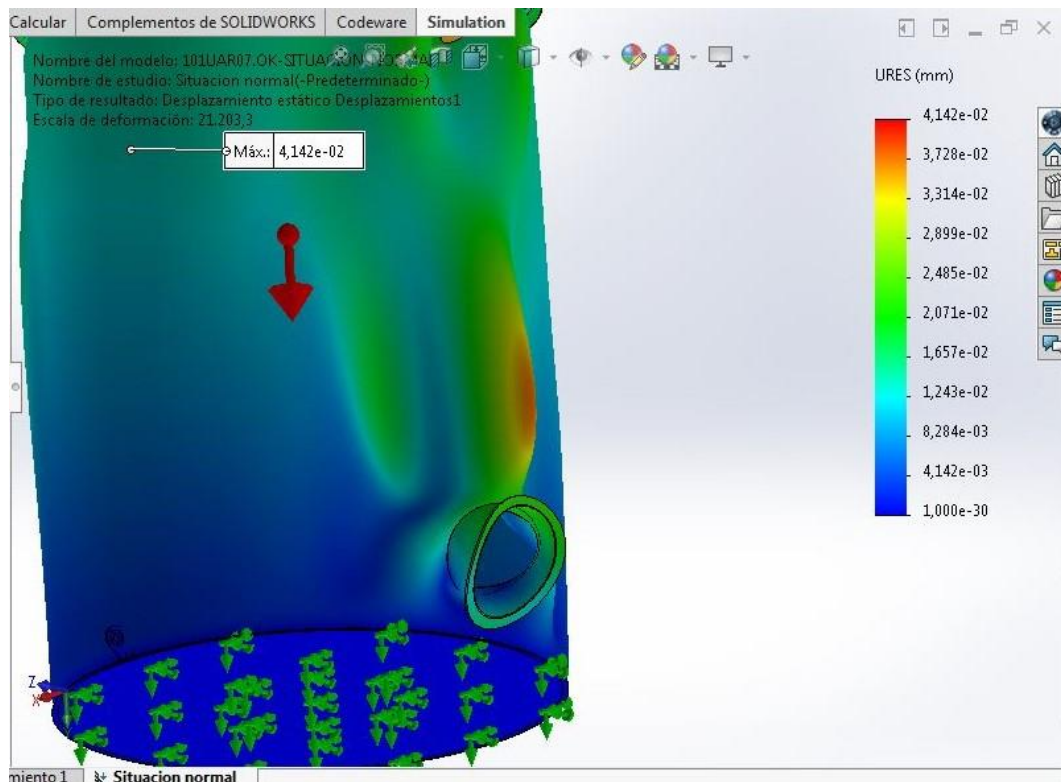


Figura 12: Desplazamientos del tanque en situación natural



*Figura 13: Desplazamientos del tanque en situación natural*

En la Figura 10 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en la parte inferior de la chapa de uno de los trunios de izado. Además, de las Figuras 11, 12 y 13 también se pueden sacar conclusiones. En la situación natural del tanque:

- Sufren mayores desplazamientos los puntos superiores de la virola que los inferiores
- El techo sufre de los desplazamientos más grandes del tanque. En cambio, el suelo, al estar fijado no sufre desplazamientos.
- El tubo sufre más desplazamiento que la zona de la virola donde se encuentra y además provoca en la parte de la virola que tiene justo encima, un desplazamiento aún superior

**Conclusión:** El tanque en su situación natural tiene unos desplazamientos inapreciables. El máximo desplazamiento del tanque es de  $4,142 \times 10^{-2}$  milímetros, y este se da en uno de los trunios de izado. Además, la parte superior es la que más se desplaza junto con la zona del tubo.

### **3 ANEXO 3: CÁLCULOS DEL IZADO DEL TANQUE EN POSICIÓN VERTICAL**

#### **3.1 Introducción**

Una vez analizado en el Anexo 2, el estado en el que el tanque se va a encontrar la mayor parte de su vida útil, quedo por analizar los estados más críticos en el momento del transporte.

El tanque de almacenamiento se va a fabricar en la empresa “Montajes y Servicios Mecánicos Alva” en Castellón de la Plana. Una vez fabricado y cuando llegue el momento de entregarlo, hay que transportarlo hasta Jorf Lasfar, puerto comercial de Marruecos. Para ello, se transportará en primer lugar por carretera, depositando el tanque en posición horizontal en un camión y llevándolo hasta el puerto. Una vez en el puerto se transportará por vía marítima hasta Jorf Lasfar.

Del transporte en camión hasta el puerto surgen los 3 casos críticos que se van a analizar en los Anexos 3, 4 y 5.

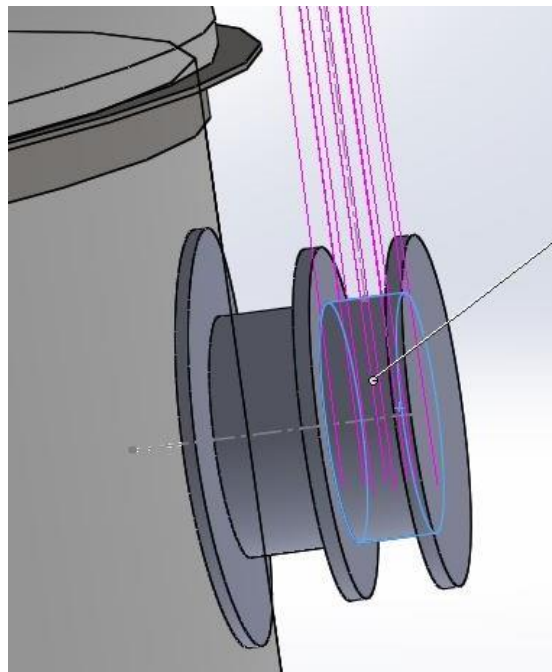
El tanque una vez construido en la empresa, se encontrará en posición vertical apoyado en el suelo y se debe subir al camión en posición horizontal. En primer lugar, hay que levantarlo verticalmente del suelo con una grúa mediante izado con cadenas. A continuación, hay que hacerlo rotar en el aire hasta que se oriente en posición horizontal. Y, por último, se tiene que colocar encima del camión, reposando sobre unas cunas.

En cuanto al izado del tanque, los 2 casos más críticos son:

1. Cuando el tanque está elevado en el aire en posición totalmente vertical
2. Cuando el tanque esté elevado en el aire en posición totalmente horizontal

En la rotación del tanque en el aire, se reparten las fuerzas y tensiones que debe soportar, por lo que no es necesario realizar ningún cálculo con el tanque girado si se calculan los 2 casos más críticos: posición vertical y posición horizontal. El primero de estos casos se corresponde con el Anexo 3, y el segundo con el Anexo 4. Mientras que el apoyo del tanque en las cunas que se colocarán en el camión se corresponderá con el Anexo 5.

El sistema para el izado vertical que ocupa este Anexo 3 consiste en lo siguiente: 2 cadenas que van unidas a una grúa rodean (atan) los trunios de izado y acto seguido se tensan para elevar el tanque verticalmente. Los trunios de izado, tal y como se puede observar en la Figura 62, consisten en 2 placas que envuelven un tubo. La cadena rodea al trunio de izado y las 2 placas restringen el movimiento de la cadena. El trunio de izado, por su diseño, está pensado para poder soportar la tensión sin sufrir en exceso.



*Figura 62: Trunio de izado*



En cuanto a las cargas que debe soportar el tanque, son 3. Una es la de su propio peso debido a la gravedad. Las otras 2 son las presiones que ejercen las cadenas en los trunios de izado.

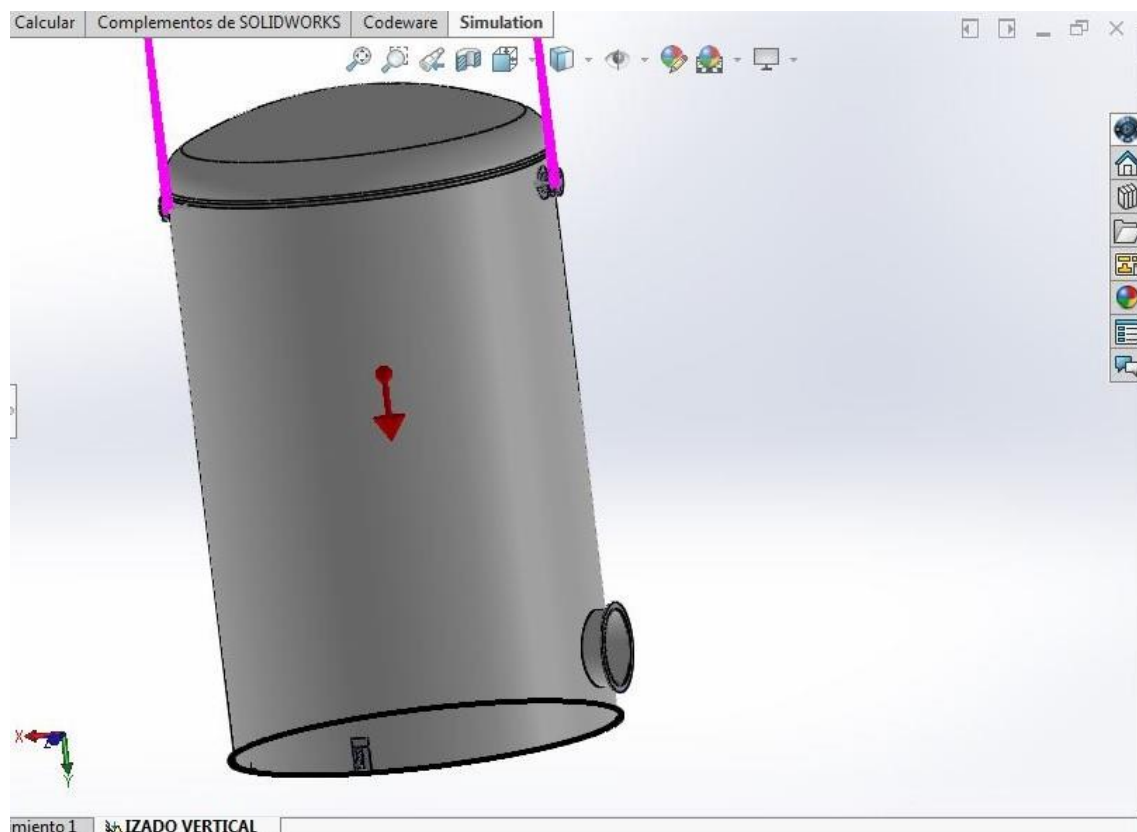
## 3.2 Datos generales

### 3.2.1 Modelado del tanque

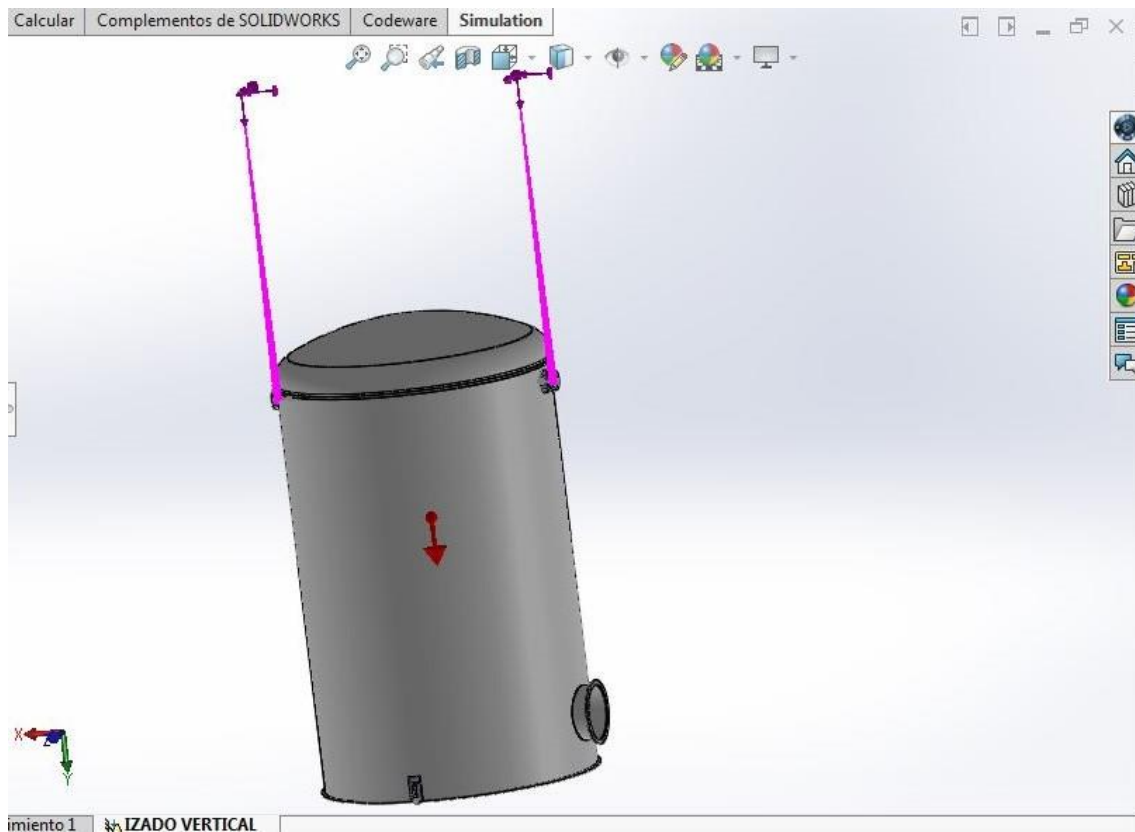
El tanque modelado para este Anexo es el mismo que en el Anexo 2. Un tanque sin la mayoría de sus tubuladuras ya que igualmente en esta situación, no afectan mucho al cálculo y el mallado sería muy complejo.

Lo único que se añade al modelo son los puntos externos que servirán a la hora de crear las cargas como sistemas de coordenadas. Estos puntos externos al tanque, que se pueden ver en la Figura 64, simulan los puntos donde las cadenas van cogidas a la grúa.

El modelo de esta situación se puede observar en las Figuras 63 y 64:



*Figura 63: Tanque modelado en SolidWorks para el izado vertical*



*Figura 64: Tanque modelado en SolidWorks para el izado vertical*

### 3.2.2 Materiales

En cuanto a los materiales del tanque, como se ha comentado anteriormente, se trata del mismo tanque que en el Anexo 2, por lo que los materiales son los mismos.

El angular de coronación es de acero al carbono S275JR que tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto de los elementos del tanque: el tubo y su brida, la orejeta, los trunios de izado, el suelo, la virola y el techo, son de acero al carbono A516 – Grado 70 que tiene un límite elástico de 260 MPa.

### 3.2.3 Conexiones

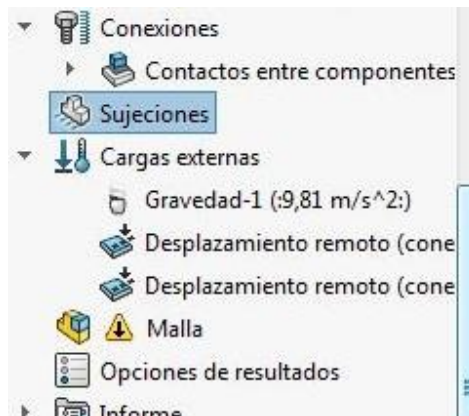
Las conexiones se refieren al tipo de contacto que hay entre los componentes de la pieza. Es decir, al cómo se unen las diferentes partes. En este caso, se trata del mismo

tipo de conexiones que en el Anexo 2. Una unión rígida entre todos los componentes del tanque ya que este tipo es en la práctica una unión soldada.

### 3.2.4 Sujeciones externas

Las sujeciones externas se refieren a los apoyos del tanque. Al tratarse en este caso de un izado vertical, el tanque está completamente en el aire, por lo que no hay ninguna sujeción.

En la Figura 65 se puede observar como no se establece ninguna sujeción:



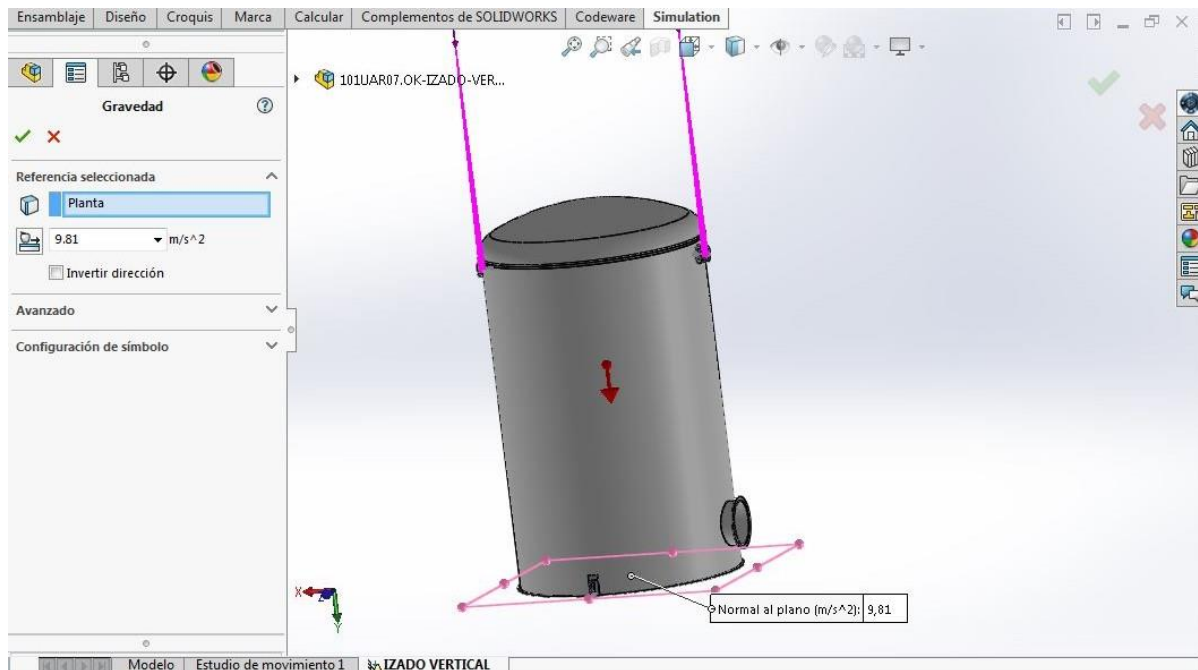
*Figura 65: Apoyos del tanque para el izado vertical (no hay)*

### 3.2.5 Cargas externas

Las cargas externas que recibe el tanque cuando se iza verticalmente son 3:

- Por un lado, está el peso propio del tanque debido a la acción de la gravedad.
- Por otro lado, están las 2 presiones que ejercen las cadenas en los trunios de izado. Tal y como se ha explicado anteriormente, la cadena está unida a una grúa y rodea al trunio de izado por debajo para así ejercer una fuerza vertical hacia arriba que eleve el tanque. La cadena está entre las 2 placas del trunio de izado y así se restringe su movimiento.

La aplicación de su propio peso se puede observar en la Figura 66:

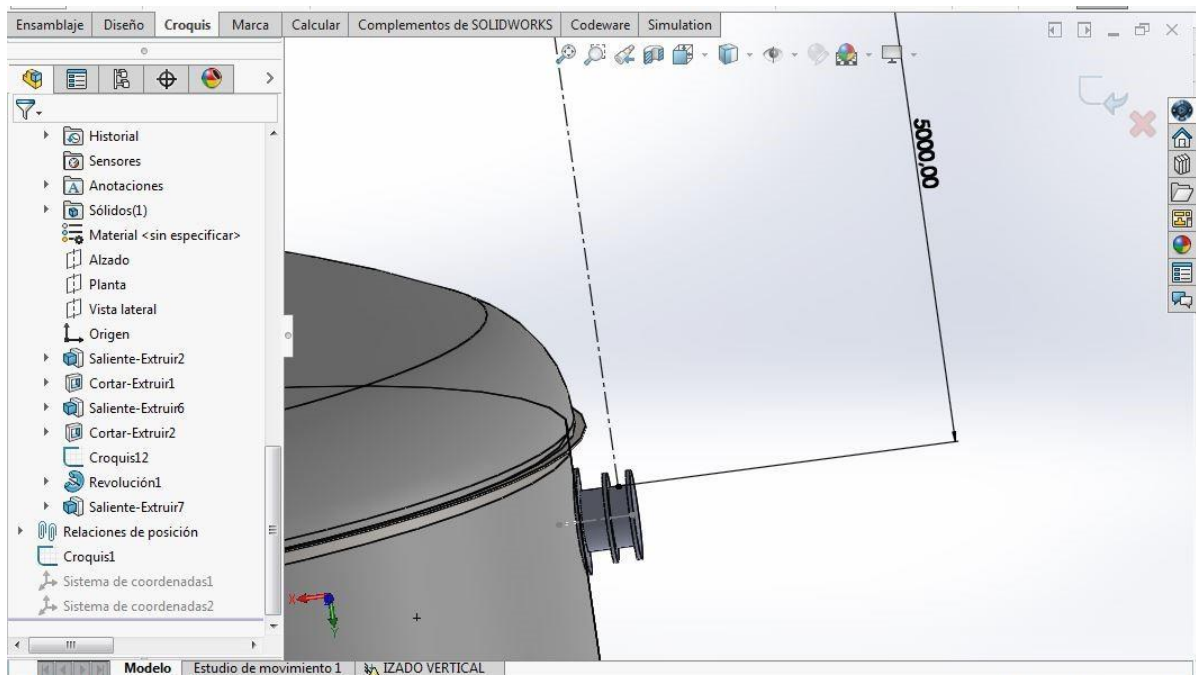


*Figura 66: Carga externa de peso propio para izado vertical del tanque*

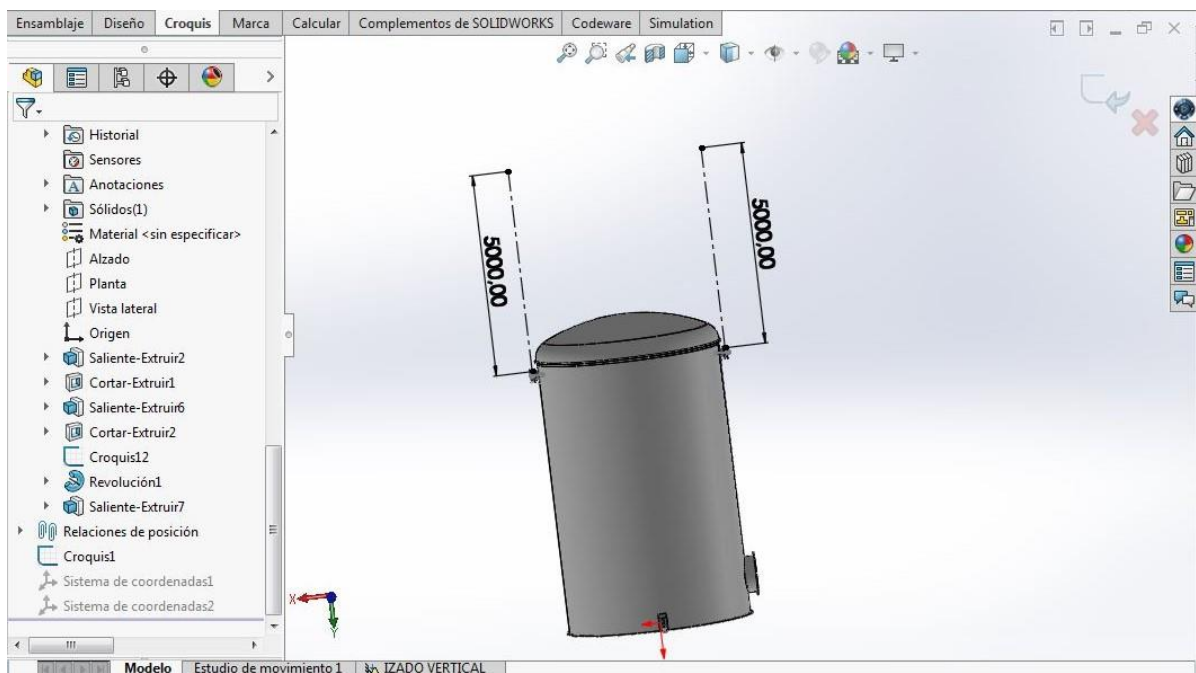
La aplicación de las presiones que ejercen las cadenas en los trunios de izado tiene varios pasos.

La aplicación de una carga externa remota en SolidWorks Simulation requiere que se defina un sistema de coordenadas de referencia, que actuará como masa remota para ejercer presión. Por lo tanto, lo que se debe hacer en primer lugar es modelar esos puntos. Para ello, se crea una recta que tenga como punto inicial el punto medio entre las 2 placas del trunio de izado. Y como punto final, un punto desplazado de manera paralela a la virola, 5 metros del punto inicial. Lo de 5 metros es una estimación aproximada pero no tiene importancia a la hora del cálculo.

Esto se puede ver en las Figuras 67 y 68:



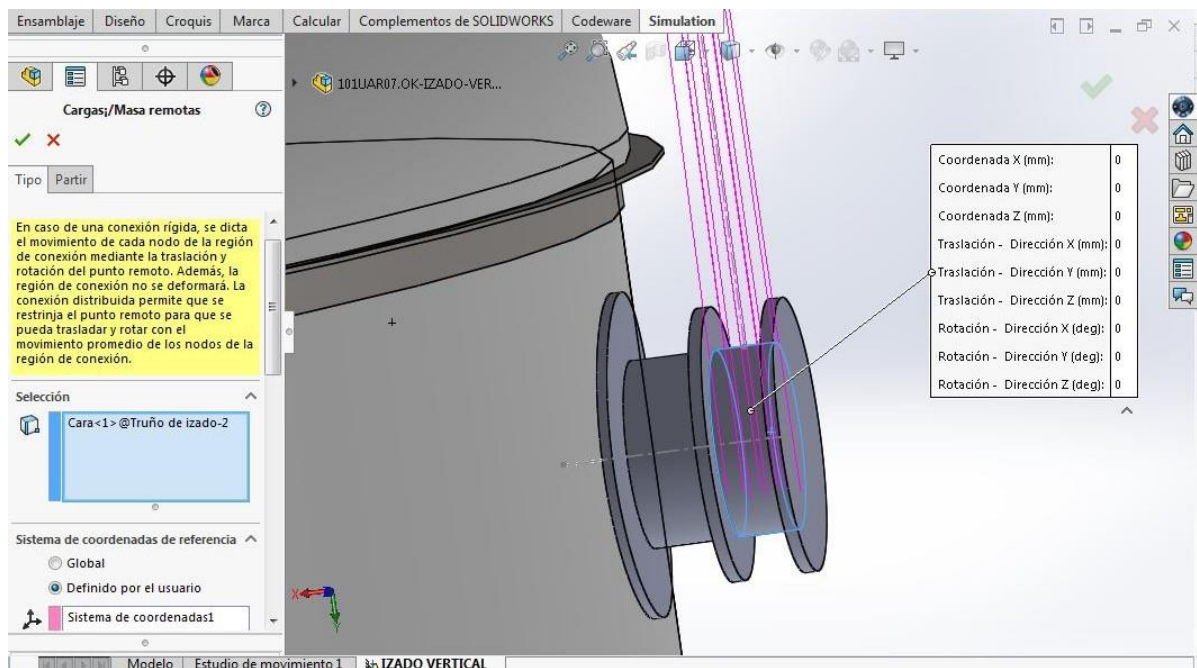
*Figura 67: Puntos para sistema de coordenadas de carga remota para izado vertical del tanque*



*Figura 68: Puntos para sistema de coordenadas de carga remota para izado vertical del tanque*

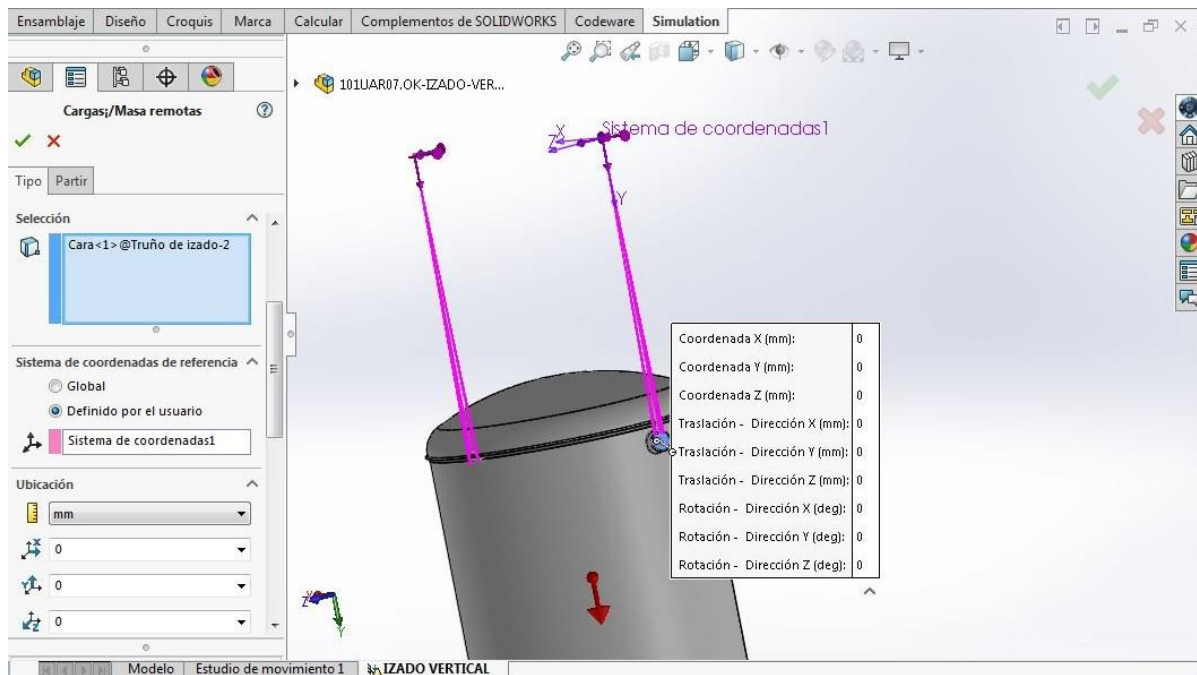
Una vez definidos estos puntos se puede aplicar la carga remota. En primer lugar, hay que establecer cuál es el área de contacto de la cadena. Este, como es lógico, es la

cara redondeada que se encuentra entre las 2 placas del trunio de izado tal y como se ve en la Figura 69:



*Figura 69: Cara de contacto de la cadena para izado vertical del tanque*

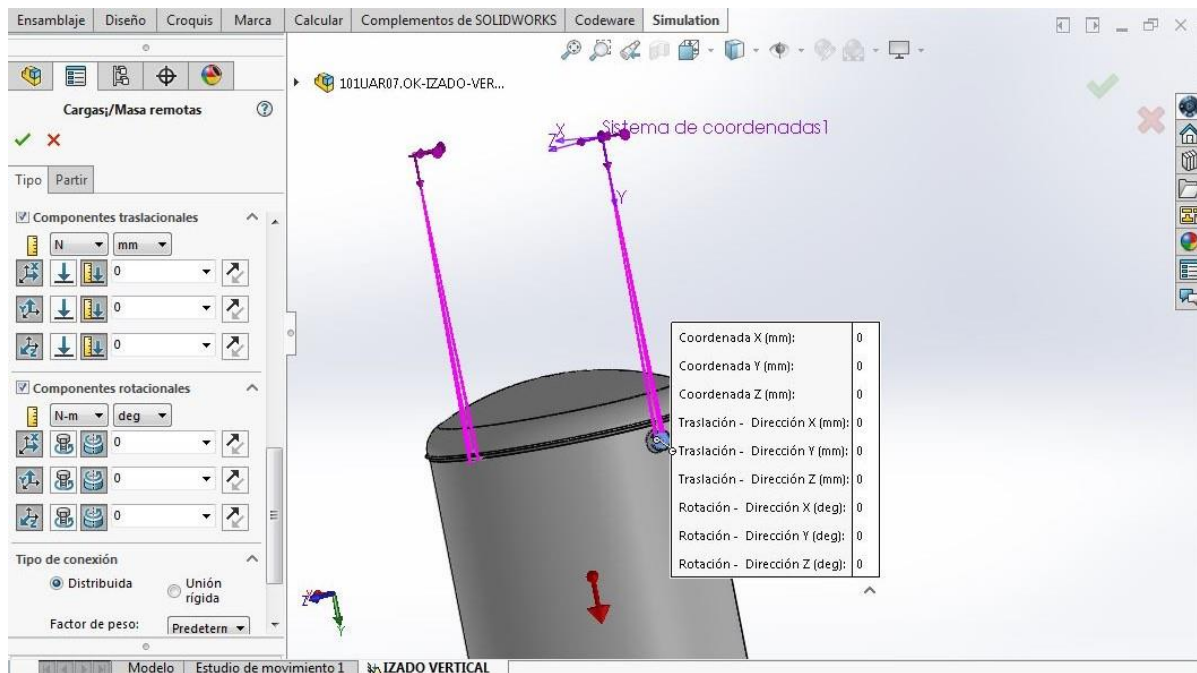
Lo siguiente a definir es el sistema de coordenadas de referencia, es decir, el punto desde el cual se tira de esa área de contacto. Este sistema de coordenadas se define a partir de los puntos anteriormente modelados. Se hace para los 2 puntos y el resultado es el de la Figura 70. Como se puede ver, ya está dibujado lo que se asimila a la cadena.



*Figura 70: Sistemas de coordenadas de masa remota para izado vertical del tanque*

Lo último a especificar para tener completamente definidas estas cargas externas es si hay algún tipo de traslación o rotación de los puntos. Como esto no va a ocurrir, se establece que todas las traslaciones y rotaciones en los 3 ejes (x, y, z) son 0. La aplicación de esto en SolidWorks Simulation se puede ver en la Figura 71:





*Figura 71: Traslaciones y rotaciones de los puntos para izado vertical del tanque*

### 3.2.6 Mallado

Nuevamente hay que realizar un mallado. Con el mallado se divide la estructura en nodos conectados que permitirán el cálculo mediante el método de elementos finitos.

Los parámetros de la malla están detallados en la Tabla 9:

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos para malla de alta calidad</b>	16 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	100 mm
<b>Tamaño mínimo de elemento</b>	20 mm

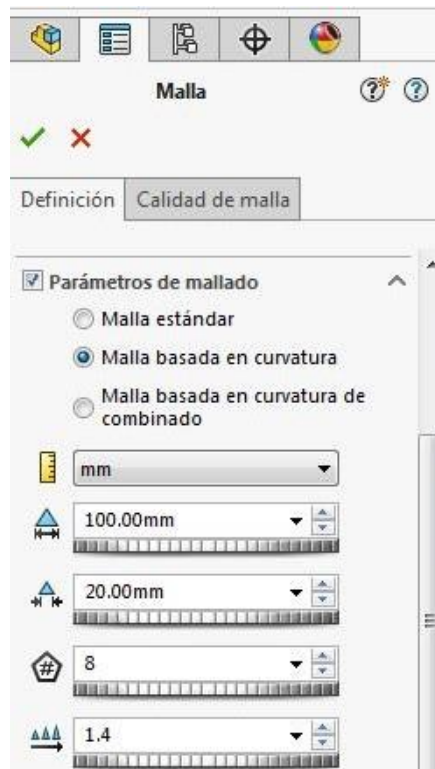
<b>Calidad de malla</b>	<b>Elementos cuadráticos de alto orden</b>
<b>Número total de nodos</b>	197757
<b>Número total de elementos</b>	97633
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	1733,5
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	0,37 %
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	75 %
<b>Porcentaje de elementos distorsionados</b>	0

*Tabla 9: Parámetros e información de malla del tanque para el caso de izado vertical*

Se trata de un mallado menos preciso que el del Anexo 2, ya que se define que el tamaño máximo de elemento sea de 100 milímetros y el mínimo de 20. Mientras que el del Anexo 2 el tamaño máximo de elemento era de 50 milímetros y el mínimo de 10.

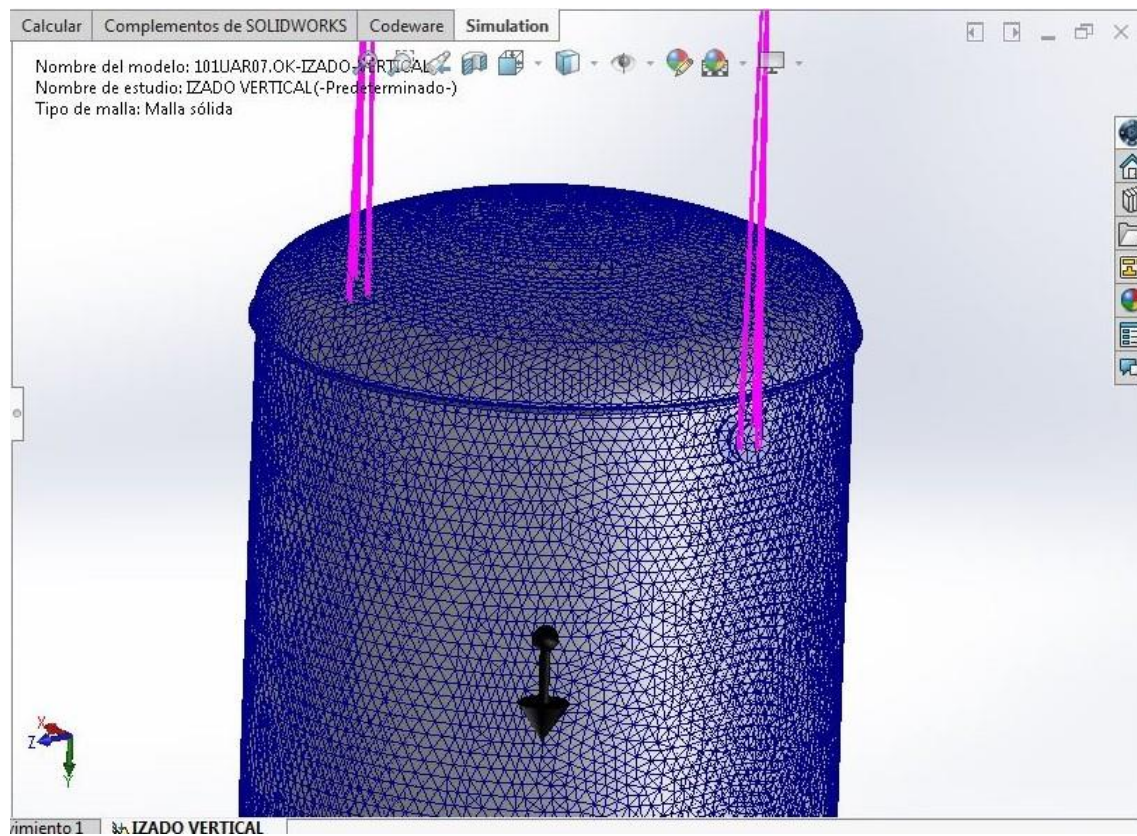
A pesar de esto, la cantidad de nodos es suficientemente significativa para aportar información precisa sobre las tensiones y los desplazamientos del tanque.

Los parámetros que se establecen en SolidWorks Simulation se pueden ver en la Figura 72:



*Figura 72: Parámetros elegidos para malla del tanque para el caso de izado vertical*

En la Figura 73 se puede observar el resultado final de la malla creada:



*Figura 73: Mallado del tanque para el caso de izado vertical. Vista global de parte superior*

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Tensiones

Tras ejecutar el modelo con todo lo establecido en el punto anterior (3.2 Datos generales), SolidWorks Simulation calcula las tensiones de Von Mises y los desplazamientos de cada uno de los nodos.

Los resultados de la tensión de Von Mises máxima y mínima se pueden ver en la Tabla 10:

<b>Tensión de Von Mises mínima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	2,144×10 <sup>-3</sup>
<b>Tensión de Von Mises máxima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	34,81

*Tabla 10: Tensión de Von Mises máxima y mínima del tanque para el caso de izado vertical*

Además, en las Figuras 14, 15 y 16 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más tensión sufren. La escala de colores no es demasiado buena pero sí se pueden apreciar algunas áreas que sufren mayor tensión.

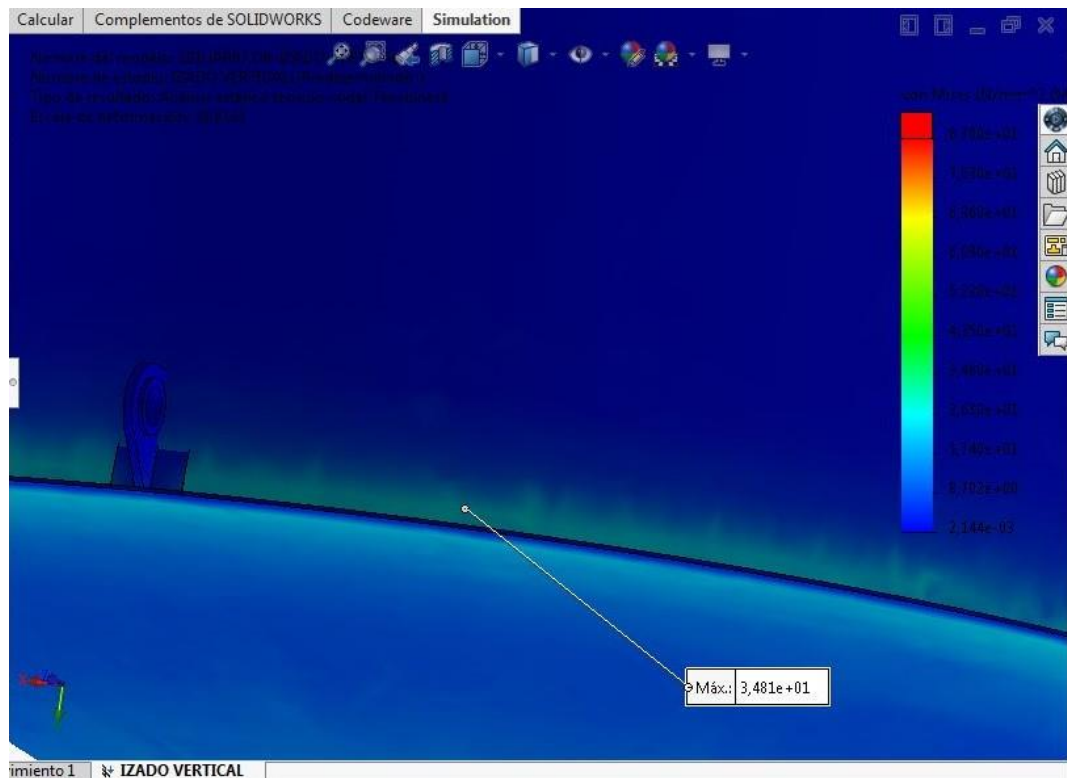


Figura 14: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical

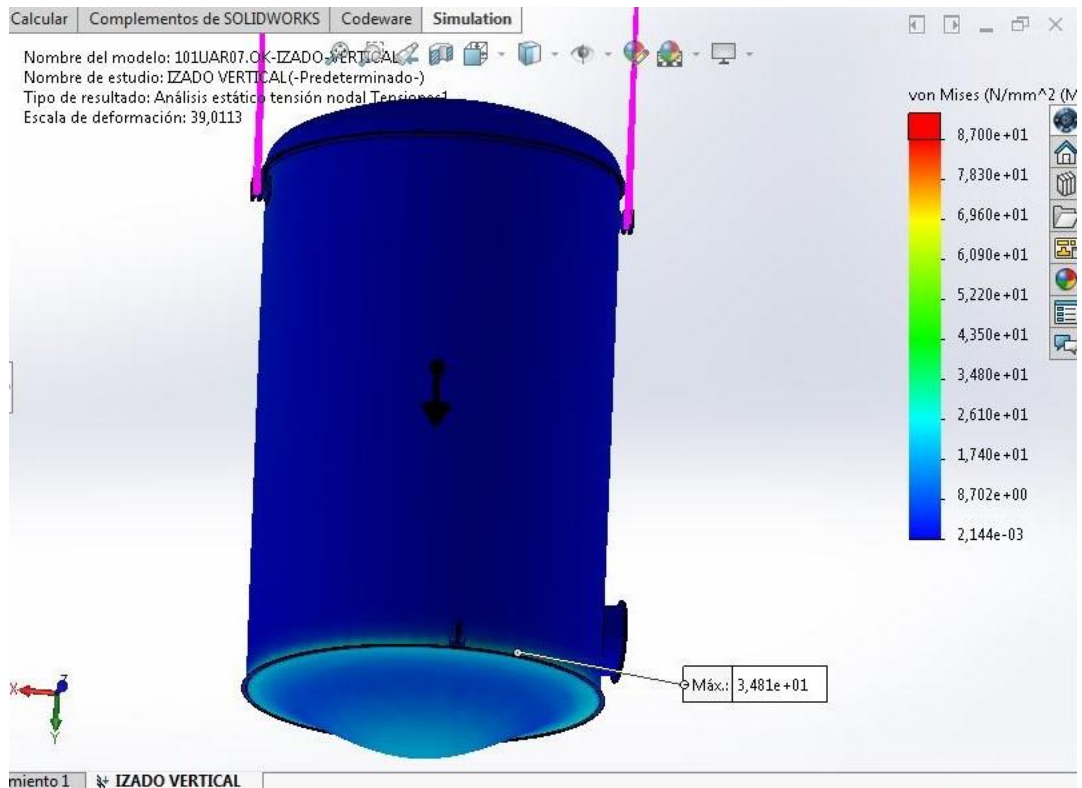
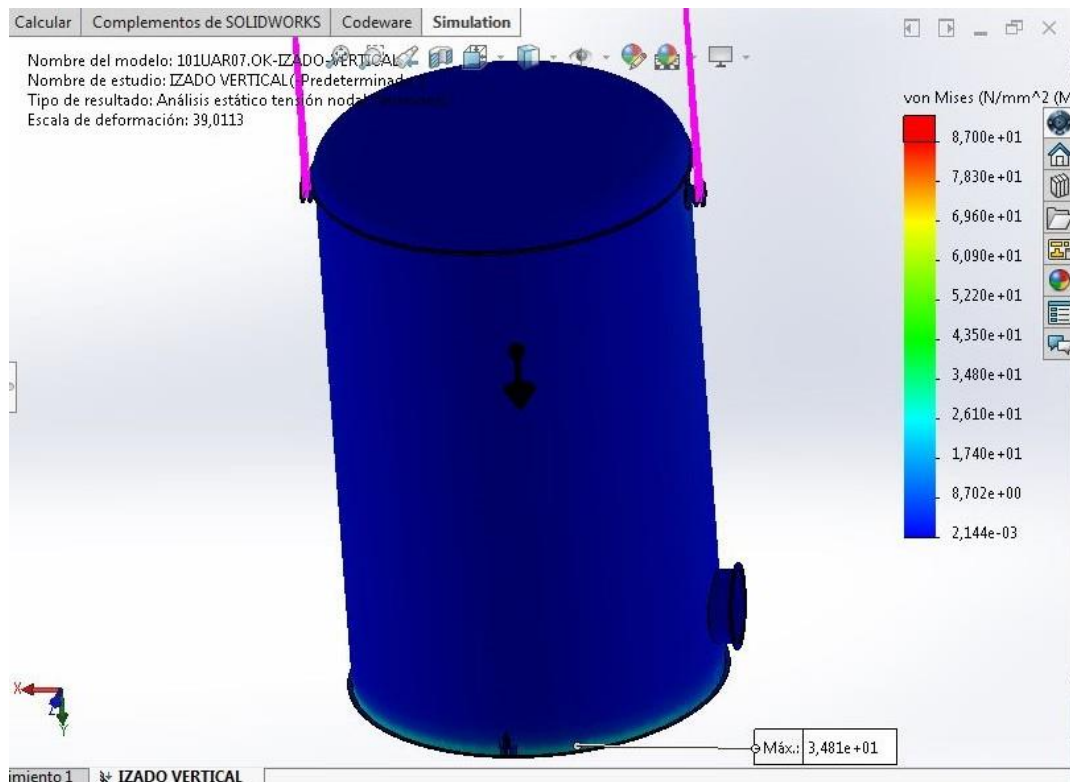


Figura 15: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical



*Figura 16: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado vertical*

En la Figura 14 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la parte inferior de la virola muy cerca de la chapa del suelo. Además, de las Figuras 14, 15 y 16 también se pueden sacar conclusiones. Para el caso de izado vertical del tanque:

- Los puntos que sufren mayores tensiones de todo el tanque son los puntos de la parte de la virola más inferior (más cercana al suelo). Esta área soporta tensiones en torno a los 34 MPa.
- La parte más externa del suelo junto con su parte central, sufren tensiones de en torno a 26 MPa.

Una vez que se tiene la máxima tensión de Von Mises, se puede hacer la comprobación del límite elástico. Para ello se va a utilizar el criterio de máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises. La explicación de este criterio se encuentra en el punto “2.3.1



Tensiones” del Anexo 2. A modo de resumen: Se puede decir que una estructura falla cuando en cualquiera de sus puntos, la tensión de Von Mises supera al límite elástico del material de la estructura, Fórmula 13:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

*Fórmula 13: Criterio de Von Mises para fallo en términos de tensión*

A continuación, se va a comprobar si el tanque falla o no para la situación de este Anexo 3, para el izado vertical del tanque. En el apartado “3.2.2 Materiales”, se detallan los materiales y por tanto sus características como el límite elástico. El angular de coronación está hecho de acero al carbono S275JR y tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto del tanque está hecho de acero al carbono A516 – Grado 70 y tiene un límite elástico de 260 MPa.

Según la Fórmula 13 queda claro que el tanque no fallará en caso de que la mayor tensión de Von Mises que tenga que soportar sea menor a la tensión límite elástico del material del tanque. La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 34,81 MPa y como se puede apreciar en la Figura 14, se da en la parte inferior de la virola cerca de la chapa del suelo. Es por esto que el límite elástico con el que se debe comparar es el de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 34,81 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

Como se puede ver, el tanque no falla. Y para cualquier punto del angular de coronación también se sabe que no fallará ya que la tensión de Von Mises es menor de 34,81 MPa y la tensión límite elástico es de 275 MPa.



Se puede apreciar a simple vista que soporta esa tensión de manera holgada, aunque la diferencia con el Anexo 2 es bastante considerable. Para magnificar esto, se va a calcular el factor de seguridad. Este aporta información sobre cuantas veces más tendría que ser mayor la tensión de Von Mises para que la estructura falle:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{34,81 \text{ MPa}} = 7,47$$

Sería necesaria aplicar una tensión de Von Mises 7,47 veces mayor para que el tanque en esta situación fallase.

**Conclusión:** El tanque para el caso de izado vertical no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. El tanque soporta una tensión de Von Mises máxima de 34,81 MPa, que se encuentra en la parte inferior de la virola cerca del suelo. Las áreas que más sufren tensión son la zona inferior de la virola y la parte externa y central del suelo. Son resultados lógicos El factor de seguridad del tanque en este caso es de 7,47. En la situación natural del tanque era de 142,39 por lo que se puede observar que, aunque el tanque no se deformará plásticamente sufre mucha mayor tensión en esta situación de izado vertical que en su estado natural.

### 3.3.2 Desplazamientos

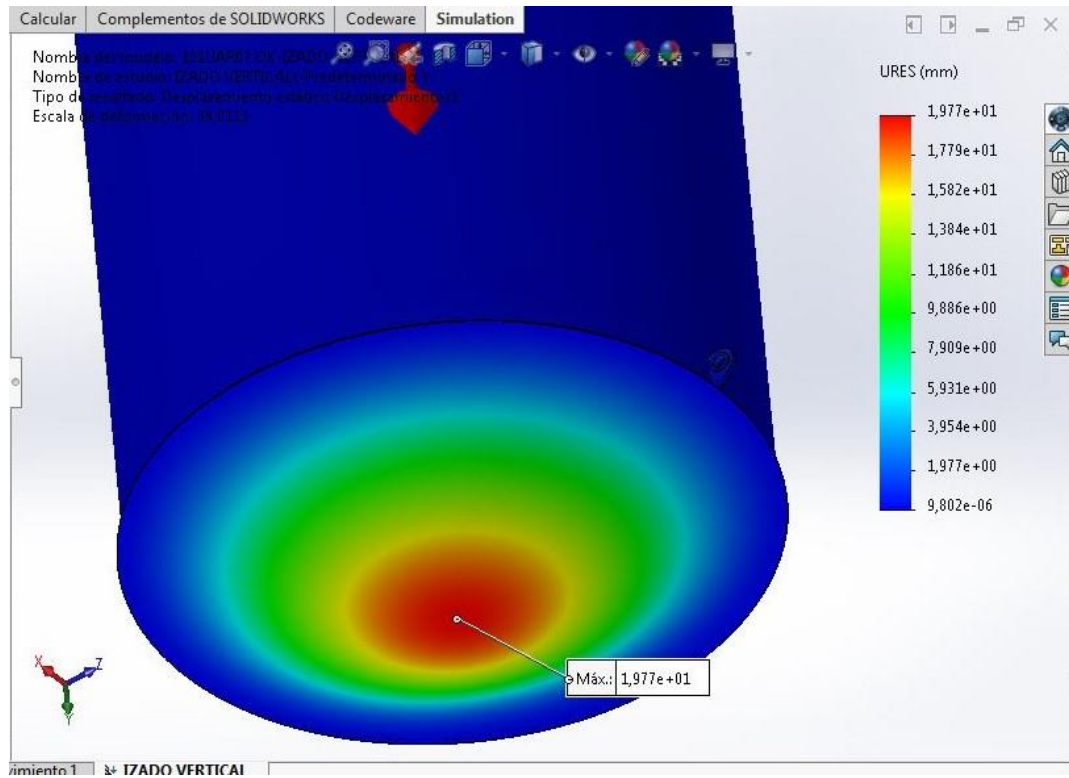
Además de las tensiones de Von Mises, SolidWorks Simulation calcula los desplazamientos de cada 1 de los nodos.

Los resultados del desplazamiento máximo y mínimo se pueden ver en la Tabla 11:

<b>Desplazamiento mínimo (mm)</b>	9,802×10 <sup>-6</sup>
<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>	19,77

*Tabla 11: Desplazamientos máximo y mínimo del tanque para el caso de izado vertical*

Además, en las Figuras 17, 18 y 19 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más se desplazan. El área de colores va de rojo, en torno a 20 milímetros, a azul oscuro, cerca de 0 milímetros.



*Figura 17: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical*

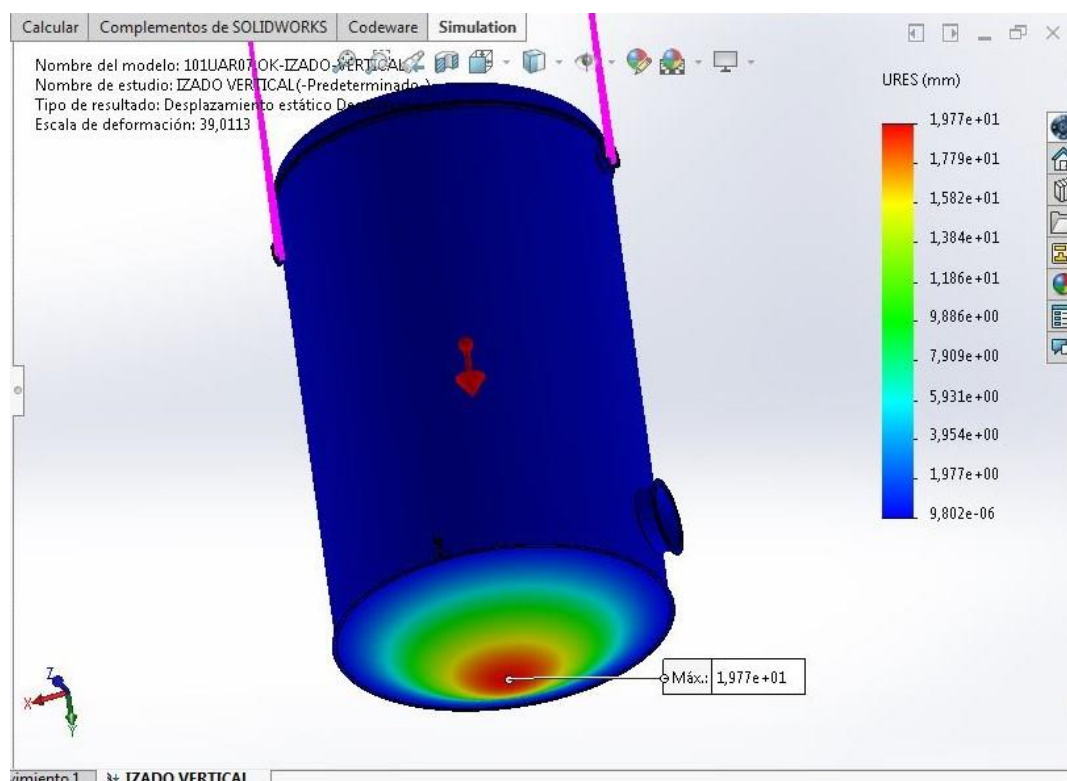


Figura 18: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical

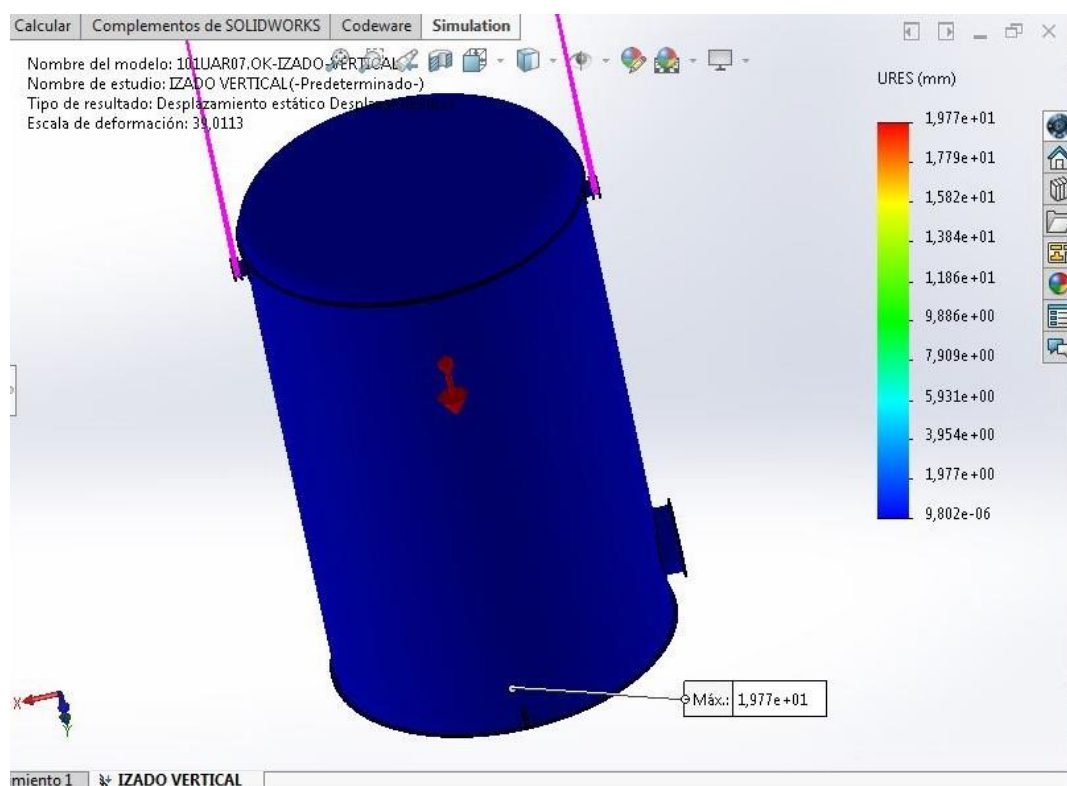


Figura 19: Desplazamientos del tanque para el caso de izado vertical

En la Figura 17 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en el centro de la chapa del suelo. Además, de las Figuras 17, 18 y 19 también se pueden sacar conclusiones. En el izado vertical del tanque:

- Tan solo la chapa del suelo es la que sufre desplazamiento
- En la chapa del suelo el desplazamiento es proporcional a la distancia del centro.

Los puntos que se encuentran más cerca del centro de la chapa sufren mayor desplazamiento que los lejanos

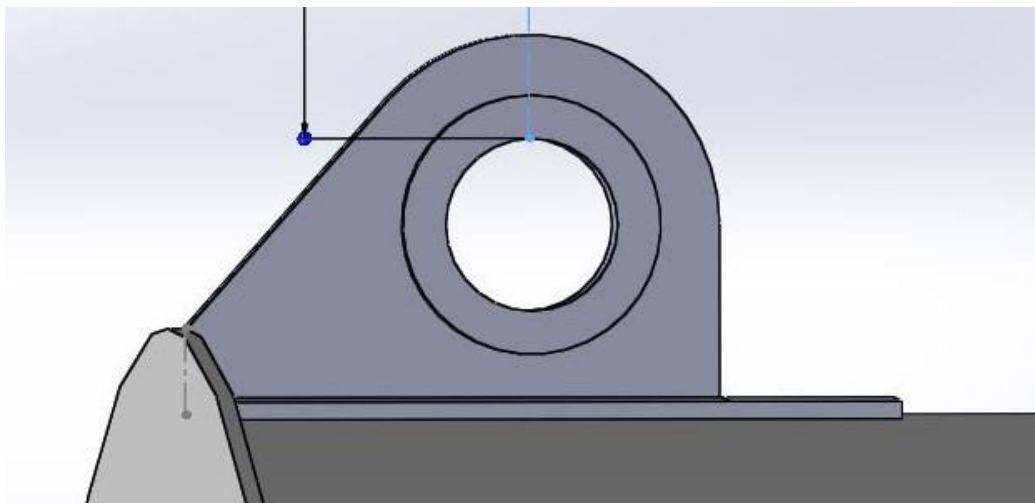
**Conclusión:** El tanque para el caso de izado vertical tan solo sufre desplazamiento en la chapa del suelo. El máximo desplazamiento del tanque es de 19,77 milímetros, y este se da en el centro de la chapa del suelo. Además, la chapa central se desplaza de manera proporcional a la distancia del centro. Este resultado era previsible porque la chapa del suelo solo va soldada a la virola y con su peso y al verse sometida a la acción de la gravedad, se abomba un poco. En la situación natural del tanque el máximo desplazamiento era de  $4,142 \times 10^{-2}$  milímetros, algo inapreciable por el ojo humano. En comparación, se desplaza mucho más en la situación de izado vertical, pero se considera apto ya que se trata de un caso que durará unos minutos y que, al no producirse deformación plástica, el tanque recuperará su forma normal.

## 4 ANEXO 4: CÁLCULOS DEL IZADO DEL TANQUE EN POSICIÓN HORIZONTAL

### 4.1 Introducción

Como se ha explicado en el apartado “3.1 Introducción” del Anexo anterior, los casos más críticos durante el izado son la posición totalmente vertical del tanque y la posición totalmente horizontal. En este Anexo 4 se analiza este último caso.

En este sistema las cadenas tiran del tanque por 3 sitios: en los 2 trunios de izado que están en la parte superior de la virola y en la orejeta de la parte inferior de la virola. En el anexo anterior se analizó el mecanismo del trunio de izado. En el caso de la orejeta, como se puede observar en la Figura 74, consiste en una placa con forma similar a una orejeta que se suelda a otra placa que va a su vez soldada a la virola. En medio de esta orejeta se encuentra un agujero. Este es por donde debe entrar la cadena para el izado. Además, tiene 2 placas soldadas en forma de aro, una a cada lado del agujero. Estos aros sirven para reforzar la orejeta y pueda soportar las tensiones durante el izado.



*Figura 74: Orejeta*

En cuanto a las cargas que debe soportar el tanque, son 4. Una es la de su propio peso debido a la gravedad. Las otras 3 son las presiones que ejercen las cadenas en los trunios de izado y en la orejeta.

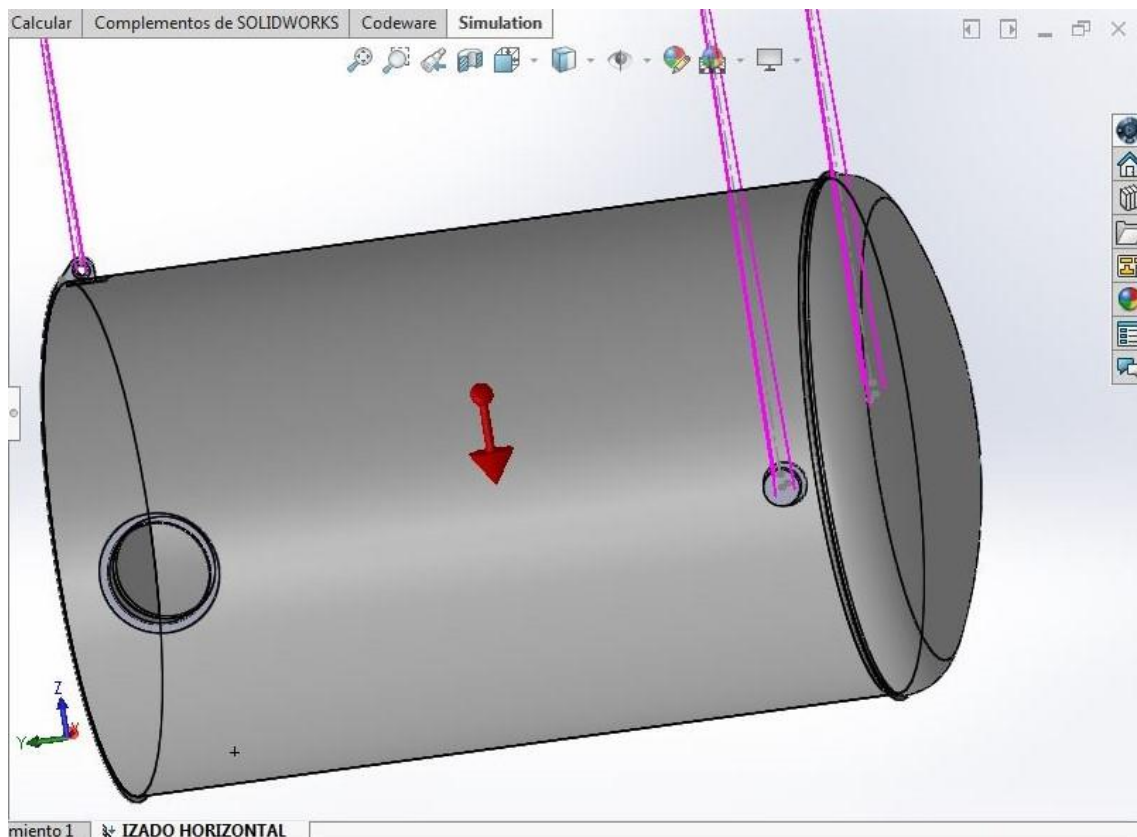
## 4.2 Datos generales

### 4.2.1 Modelado del tanque

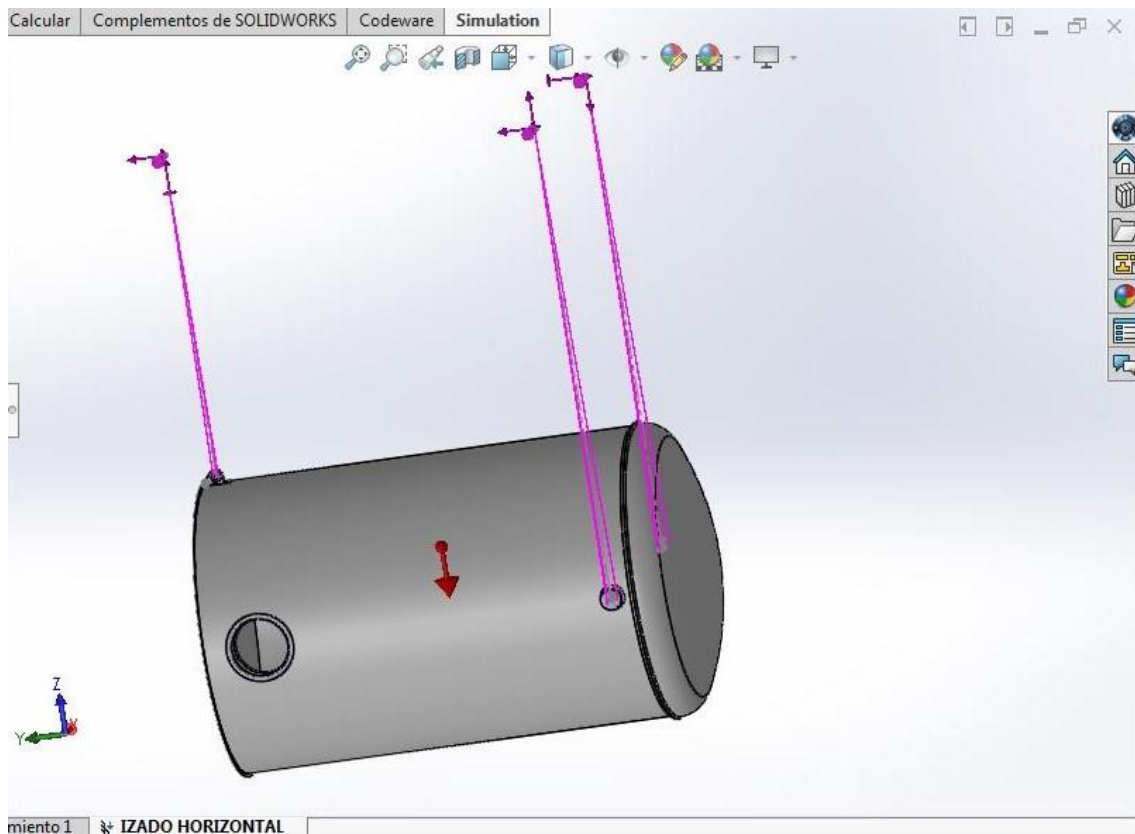
El tanque modelado para este Anexo es el mismo que en el Anexo 2 y en el Anexo3. Un tanque sin la mayoría de sus tubuladuras ya que igualmente en esta situación, no afectan mucho al cálculo y el mallado sería muy complejo.

Lo único que se añade al modelo, es igual que para el izado vertical del Anexo 3, los puntos externos que servirán a la hora de crear las cargas como sistemas de coordenadas. Estos puntos externos al tanque, que se pueden ver en la Figura 76, simulan los puntos donde las cadenas van cogidas a la grúa.

El modelo de esta situación se puede observar en las Figuras 75 y 76:



*Figura 75: Tanque modelado en SolidWorks para el izado horizontal*



*Figura 76: Tanque modelado en SolidWorks para el izado horizontal*

#### **4.2.2 Materiales**

En cuanto a los materiales del tanque, como se ha comentado anteriormente, se trata del mismo tanque que en el Anexo 2 y 3, por lo que los materiales son los mismos.

El angular de coronación es de acero al carbono S275JR que tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto de los elementos del tanque: el tubo y su brida, la orejeta, los trunios de izado, el suelo, la virola y el techo, son de acero al carbono A516 – Grado 70 que tiene un límite elástico de 260 MPa.

#### **4.2.3 Conexiones**

Las conexiones se refieren al tipo de contacto que hay entre los componentes de la pieza. Es decir, al cómo se unen las diferentes partes. En este caso, se trata del mismo



tipo de conexiones que en el Anexo 2 y 3. Una unión rígida entre todos los componentes del tanque ya que este tipo es en la práctica una unión soldada.

#### **4.2.4 Sujeciones externas**

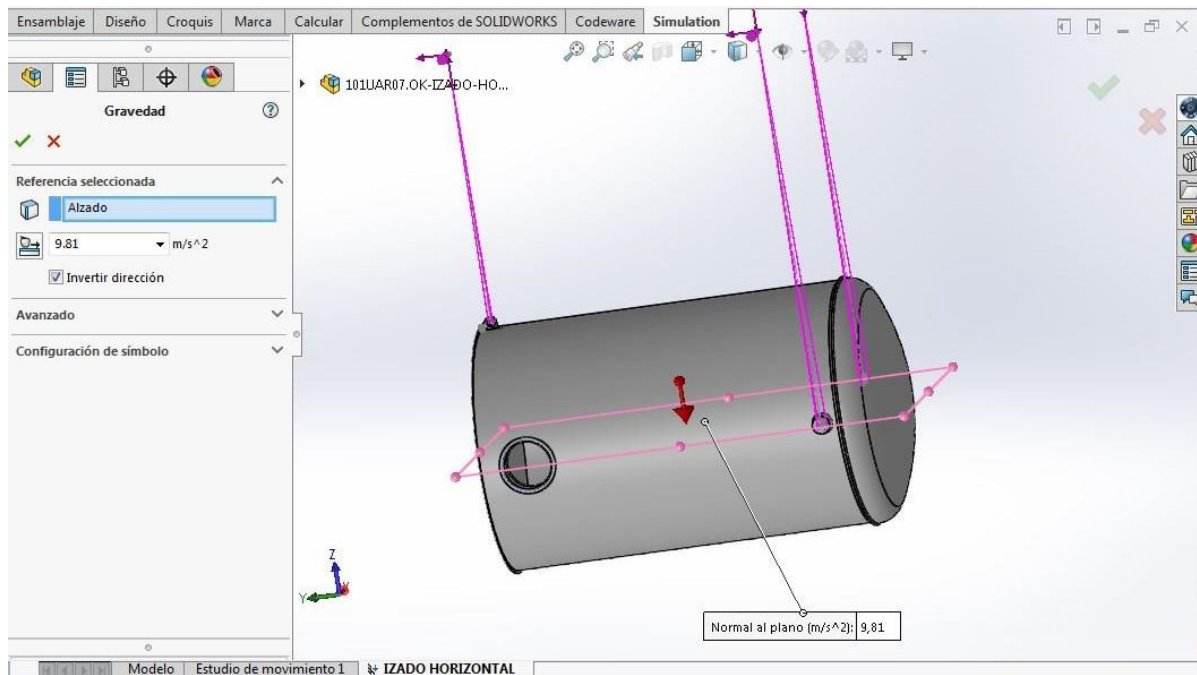
Las sujeciones externas se refieren a los apoyos del tanque. Al tratarse en este caso de un izado horizontal, ocurre lo mismo que en el izado vertical, el tanque está completamente en el aire, por lo que no hay ninguna sujeción.

#### **4.2.5 Cargas externas**

Las cargas externas que recibe el tanque cuando se iza horizontalmente son 4:

- Por un lado, está el peso propio del tanque debido a la acción de la gravedad, en este caso, el tanque está en horizontal por lo que hay que cambiar el plano hacia el que apunta la gravedad.
- Por otro lado, están las 3 presiones que ejercen las cadenas: 2 en los trunios de izado y 1 en la orejeta. En cuanto a la presión en los trunios de izado, la cadena está unida a una grúa y rodea al trunio de izado por debajo para así ejercer una fuerza vertical hacia arriba. La cadena está entre las 2 placas del trunio de izado y así se restringe su movimiento. En cuanto a la presión en la orejeta. La cadena está igualmente unida a la grúa y se mete por dentro del agujero de la orejeta, y así ejerce una fuerza vertical hacia arriba.

La aplicación de su propio peso se puede observar en la Figura 77:



*Figura 77: Carga externa de peso propio para izado horizontal del tanque*

La aplicación de las presiones que ejercen las cadenas en los trunios de izado y en la orejeta tiene varios pasos.

La aplicación de una carga externa remota en SolidWorks Simulation requiere que se defina un sistema de coordenadas de referencia, que actuará como masa remota para ejercer presión. Por lo tanto, lo que se debe hacer en primer lugar es modelar esos puntos. Para hacer esto en la orejeta, se crea una recta que tenga como punto inicial el punto más vertical del agujero de la orejeta. Y como punto final, un punto desplazado de manera perpendicular a la virola, 5 metros del punto inicial. Lo de 5 metros es una estimación aproximada pero no tiene importancia a la hora del cálculo.

Para hacer esto en los trunios de izado, se crea una recta que tenga como punto inicial el punto medio entre las 2 placas del trunio de izado. Y como punto final, un punto desplazado de manera perpendicular a la virola, a la misma altura que el de la orejeta.

Esto se puede ver en las Figuras 78 y 79:

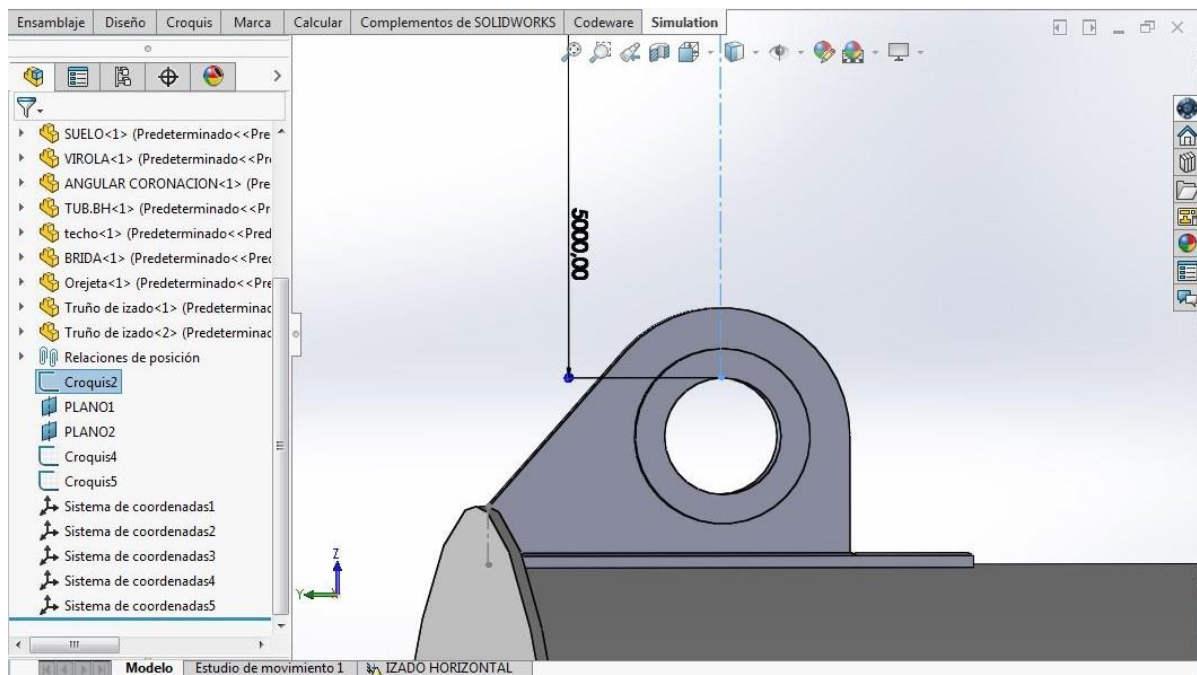


Figura 78: Puntos para sistema de coordenadas de carga remota para izado horizontal del tanque

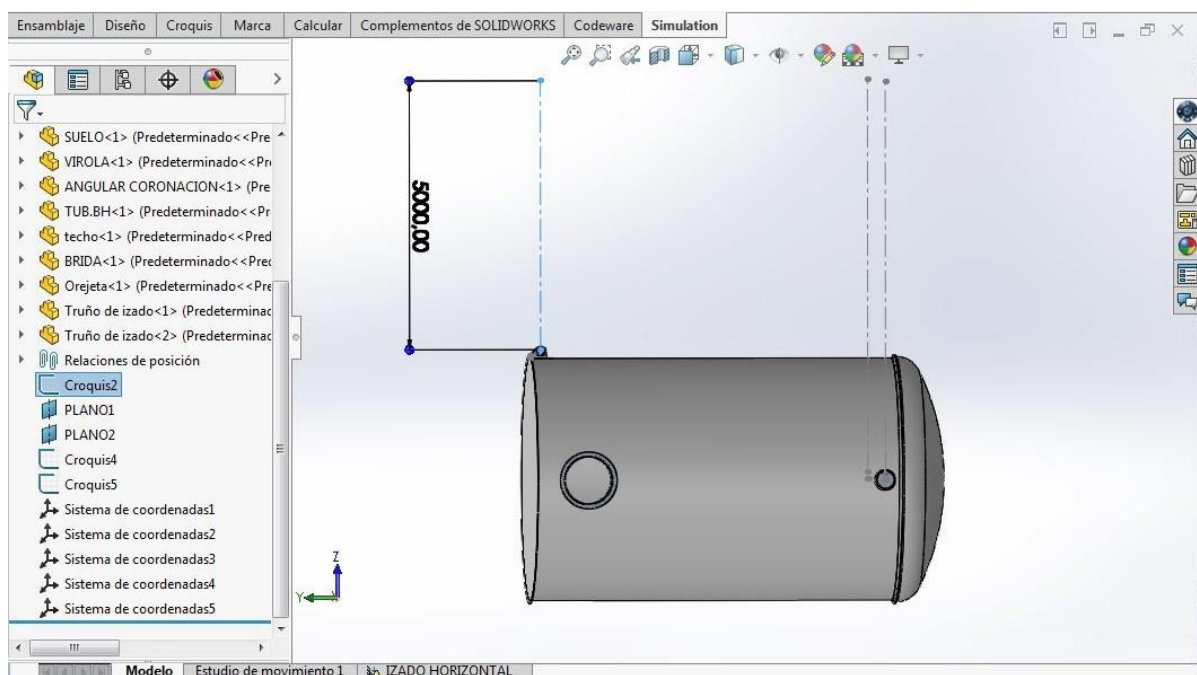
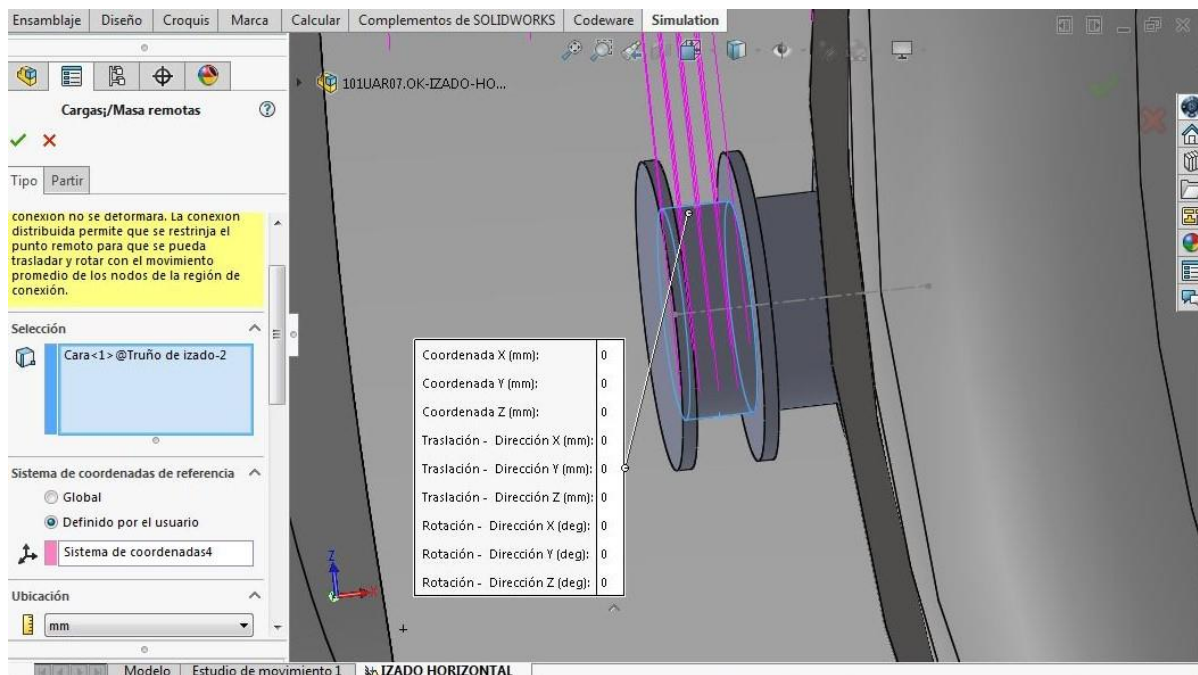


Figura 79: Puntos para sistema de coordenadas de carga remota para izado horizontal del tanque

Una vez definidos estos puntos se puede aplicar la carga remota. En primer lugar, hay que establecer cuál es el área de contacto de la cadena tanto con los trunios de izado como con la orejeta. El área de contacto de la cadena con los trunios de izado es la cara redondeada que se encuentra entre las 2 placas del trunio de izado. Mientras que el área de contacto de la cadena con la orejeta es la cara redondeada del agujero. Esto se puede ver en la Figura 80:



*Figura 80: Cara de contacto de la cadena para izado horizontal del tanque*

Lo siguiente a definir son los sistemas de coordenadas de referencia, es decir, los puntos desde los cuales se tira de esas áreas de contacto. Estos sistemas de coordenadas se definen a partir de los puntos anteriormente modelados. Se hacen para los 3 puntos y el resultado es el de la Figura 81. Como se puede ver, ya está dibujado lo que se asimila a la cadena.

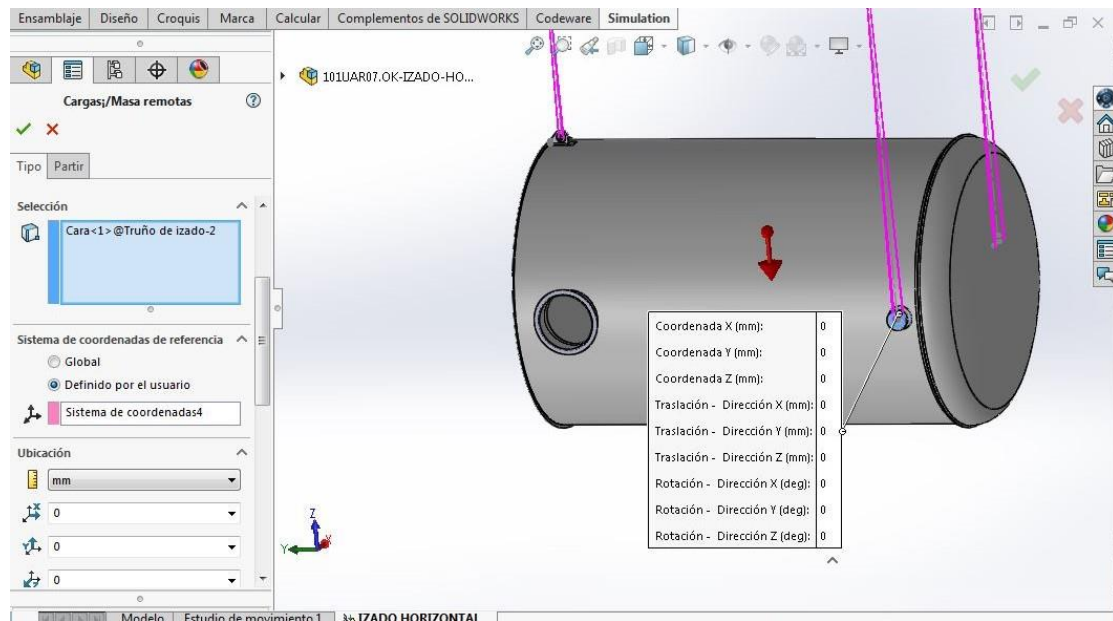


Figura 81: Sistemas de coordenadas de masa remota para izado horizontal del tanque

Lo último a especificar para tener completamente definidas estas cargas externas es si hay algún tipo de traslación o rotación de los puntos. Como esto no va a ocurrir, se establece que todas las traslaciones y rotaciones en los 3 ejes (x, y, z) son 0. La aplicación de esto en SolidWorks Simulation se puede ver en la Figura 82:

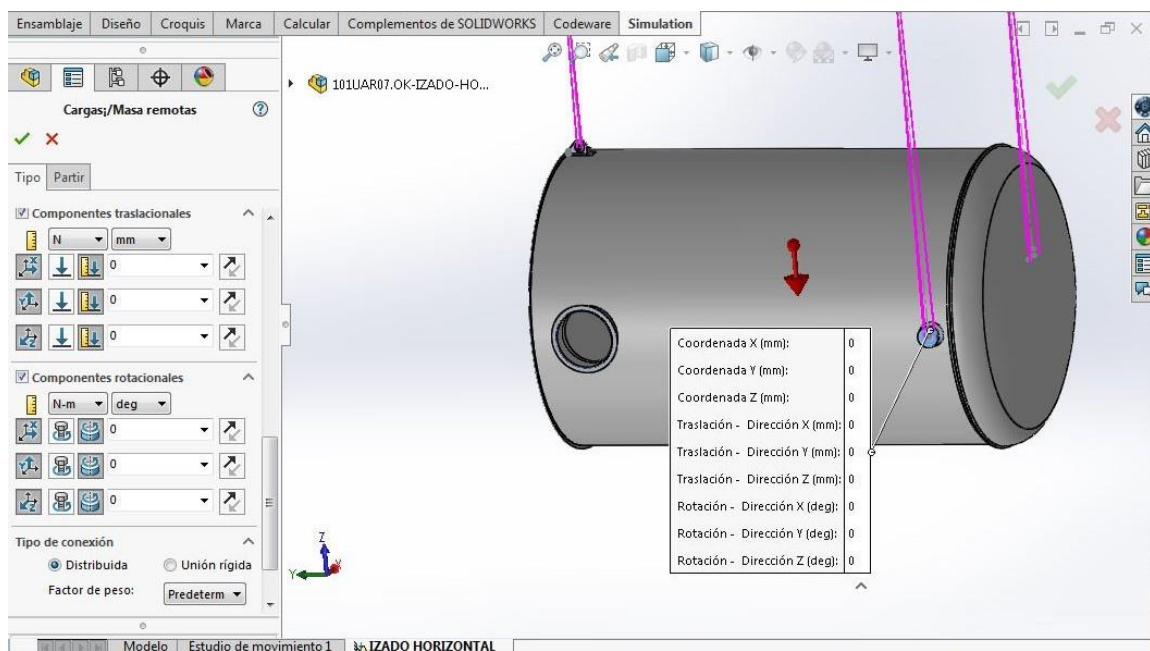


Figura 82: Traslaciones y rotaciones de los puntos para izado horizontal del tanque

#### 4.2.6 Mallado

Nuevamente hay que realizar un mallado. Con el mallado se divide la estructura en nodos conectados que permitirán el cálculo mediante el método de elementos finitos.

Los parámetros de la malla están detallados en la Tabla 12:

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos para malla de alta calidad</b>	16 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	100 mm
<b>Tamaño mínimo de elemento</b>	20 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Número total de nodos</b>	197757
<b>Número total de elementos</b>	97633
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	1733,5
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	0,37 %
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	75 %



<b>Porcentaje de elementos distorsionados</b>	0
---	---

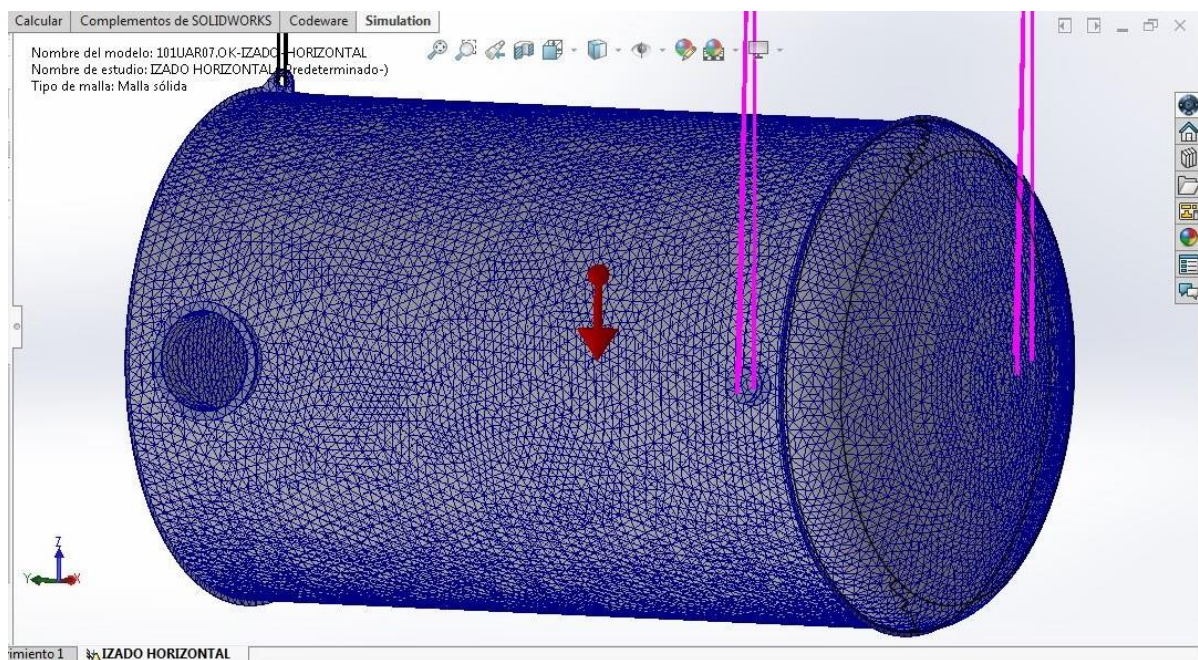
*Tabla 12: Parámetros e información de malla del tanque para el caso de izado horizontal*

Se trata de un mallado menos preciso que el del Anexo 2, el de la situación natural del tanque, ya que se define que el tamaño máximo de elemento sea de 100 milímetros y el mínimo de 20. Mientras que el del Anexo 2 el tamaño máximo de elemento era de 50 milímetros y el mínimo de 10.

A pesar de esto, la cantidad de nodos es suficientemente significativa para aportar información precisa sobre las tensiones y los desplazamientos del tanque.

Es el mismo mallado que se realiza para el izado vertical, en el Anexo 3. Por lo que, los parámetros que se establecen en SolidWorks Simulation son los mismos que en la Figura 72.

En la Figura 83 se puede observar el resultado final de la malla creada:



*Figura 83: Mallado del tanque para el caso de izado horizontal*

## 4.3 Resultados

### 4.3.1 Tensiones

Tras ejecutar el modelo con todo lo establecido en el punto anterior (4.2 Datos generales), SolidWorks Simulation calcula las tensiones de Von Mises y los desplazamientos de cada uno de los nodos.

Los resultados de la tensión de Von Mises máxima y mínima se pueden ver en la Tabla 13:

<b>Tensión de Von Mises mínima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	3,576×10 <sup>-3</sup>
<b>Tensión de Von Mises máxima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	37,65

*Tabla 13: Tensión de Von Mises máxima y mínima del tanque para el caso de izado horizontal*

Además, en las Figuras 20, 21 y 22 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más tensión sufren. La escala de colores no es demasiado buena y solo se pueden distinguir distintos colores en la orejeta.



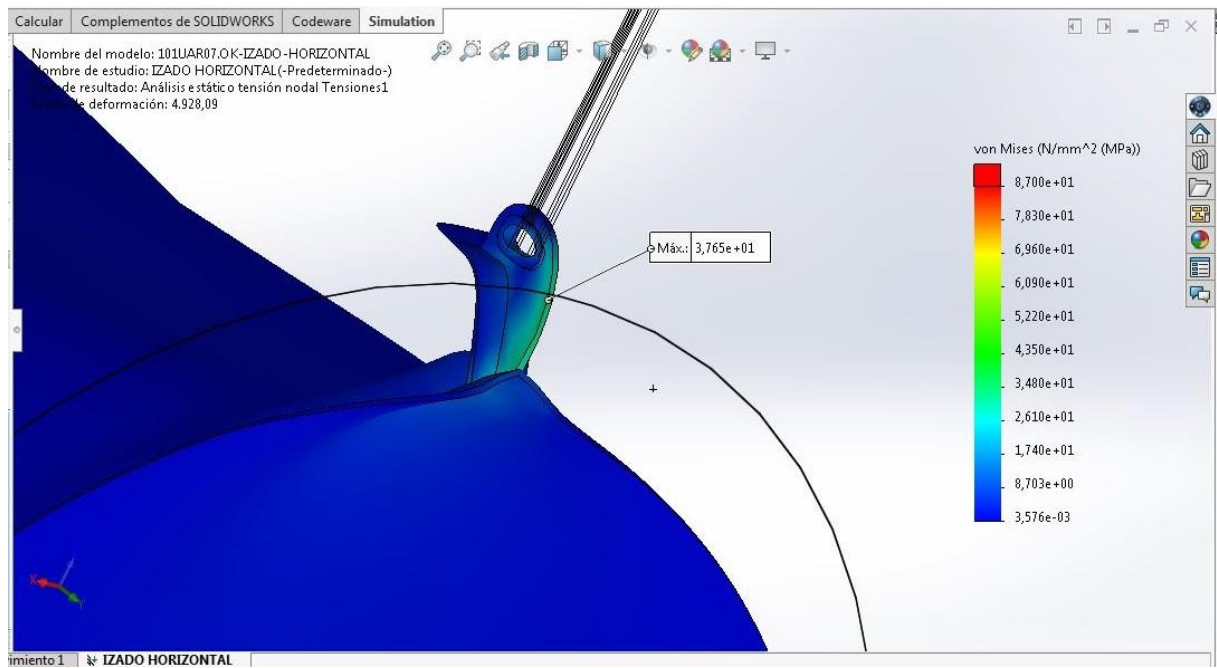


Figura 20: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal

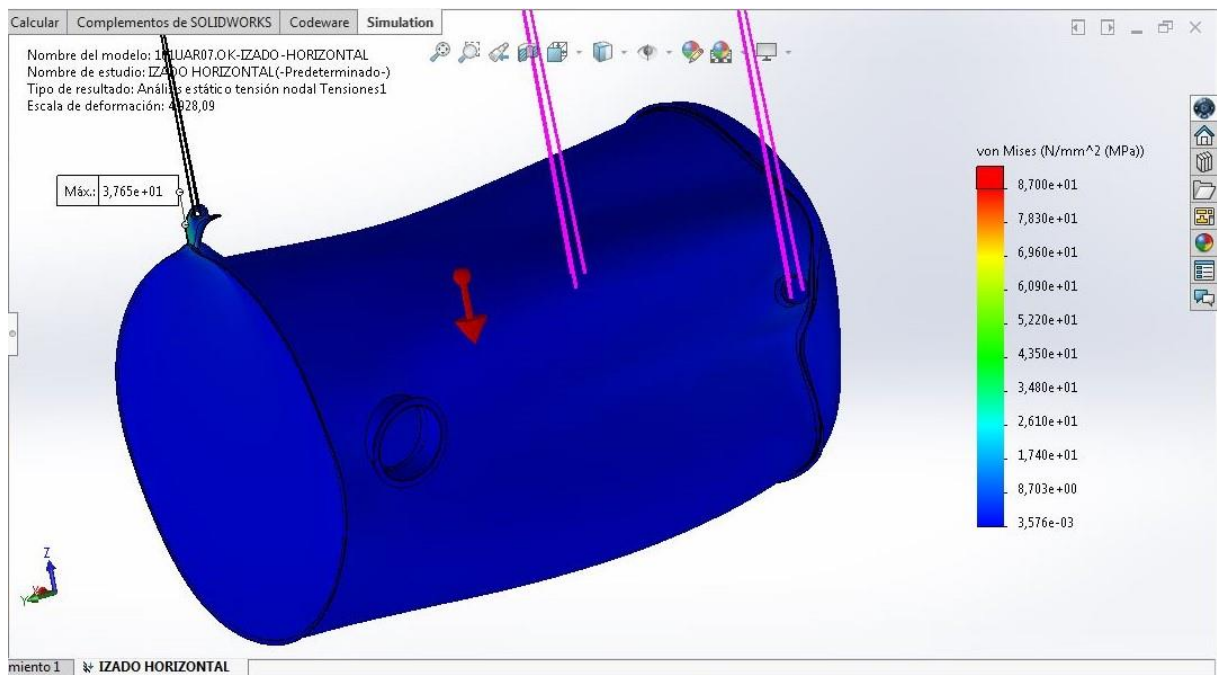
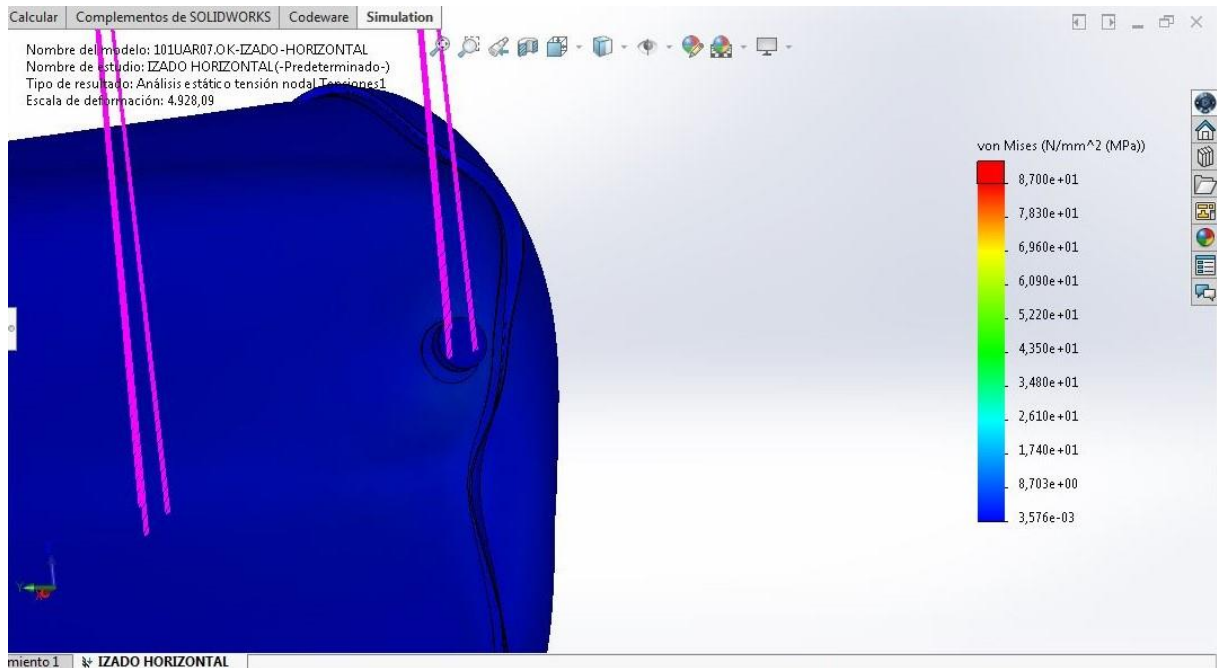


Figura 21: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal



*Figura 22: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de izado horizontal*

En la Figura 20 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la zona externa de la orejeta. Además, se puede apreciar que es en la orejeta donde se dan las tensiones más grandes:

- Los puntos que sufren mayores tensiones de todo el tanque, son los puntos externos de la orejeta. Esta área soporta tensiones en torno a los 37 MPa.
- Según se avanza hacia la virola, también se observa que hay puntos de la orejeta que sufren altas tensiones de en torno a 26 MPa.

Una vez que se tiene la máxima tensión de Von Mises, se puede hacer la comprobación del límite elástico. Para ello se va a utilizar el criterio de máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises. La explicación de este criterio se encuentra en el punto “2.3.1 Tensiones” del Anexo 2. A modo de resumen: Se puede decir que una estructura falla cuando en cualquiera de sus puntos, la tensión de Von Mises supera al límite elástico del material de la estructura, Fórmula 13:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

*Fórmula 13: Criterio de Von Mises para fallo en términos de tensión*

A continuación, se va a comprobar si el tanque falla o no para la situación de este Anexo 4, para el izado horizontal del tanque. En el apartado “4.2.2 Materiales”, se detallan los materiales y por tanto sus características como el límite elástico. El angular de coronación está hecho de acero al carbono S275JR y tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto del tanque está hecho de acero al carbono A516 – Grado 70 y tiene un límite elástico de 260 MPa.

Según la Fórmula 13 queda claro que el tanque no fallará en caso de que la mayor tensión de Von Mises que tenga que soportar sea menor a la tensión límite elástico del material del tanque. La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 37,65 MPa y como se puede apreciar en la Figura 20, se da en la parte inferior de la virola cerca de la chapa del suelo. Es por esto que el límite elástico con el que se debe comparar es el de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 37,65 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

Como se puede ver, el tanque no falla. Y para cualquier punto del angular de coronación también se sabe que no fallará ya que la tensión de Von Mises es menor de 37,65 MPa y la tensión límite elástico es de 275 MPa.

Se puede apreciar a simple vista que soporta esa tensión de manera holgada. Igualmente, que para el caso de izado vertical (Anexo 3), la diferencia con la situación natural (Anexo 2) es bastante considerable. Para magnificar esto, se va a calcular el factor de seguridad. Este aporta información sobre cuantas veces más tendría que ser mayor la tensión de Von Mises para que la estructura falle:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{37,65 \text{ MPa}} = 6,91$$

Sería necesaria aplicar una tensión de Von Mises 6,91 veces mayor para que el tanque en esta situación fallase.

**Conclusión:** El tanque para el caso de izado horizontal no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. El tanque soporta una tensión de Von Mises máxima de 37,65 MPa, que se encuentra en la parte externa de la orejeta. Las áreas que más sufren tensión son, igualmente, zonas externas de la orejeta. El factor de seguridad del tanque en este caso es de 6,91. En la situación natural del tanque era de 142,39 y para el izado vertical del tanque era de 7,47 por lo que se puede observar que se trata de un caso más similar al izado vertical, en el que el tanque no se deforma plásticamente, pero las tensiones que tiene que soportar son grandes en comparación a la situación natural.

Aunque en el izado vertical y horizontal, la tensión máxima es similar, no son similares en cuanto a la zona donde esto ocurre. En el izado vertical, la tensión máxima se da en la parte inferior de la virola mientras que en el izado horizontal se da en la orejeta.

#### 4.3.2 Desplazamientos

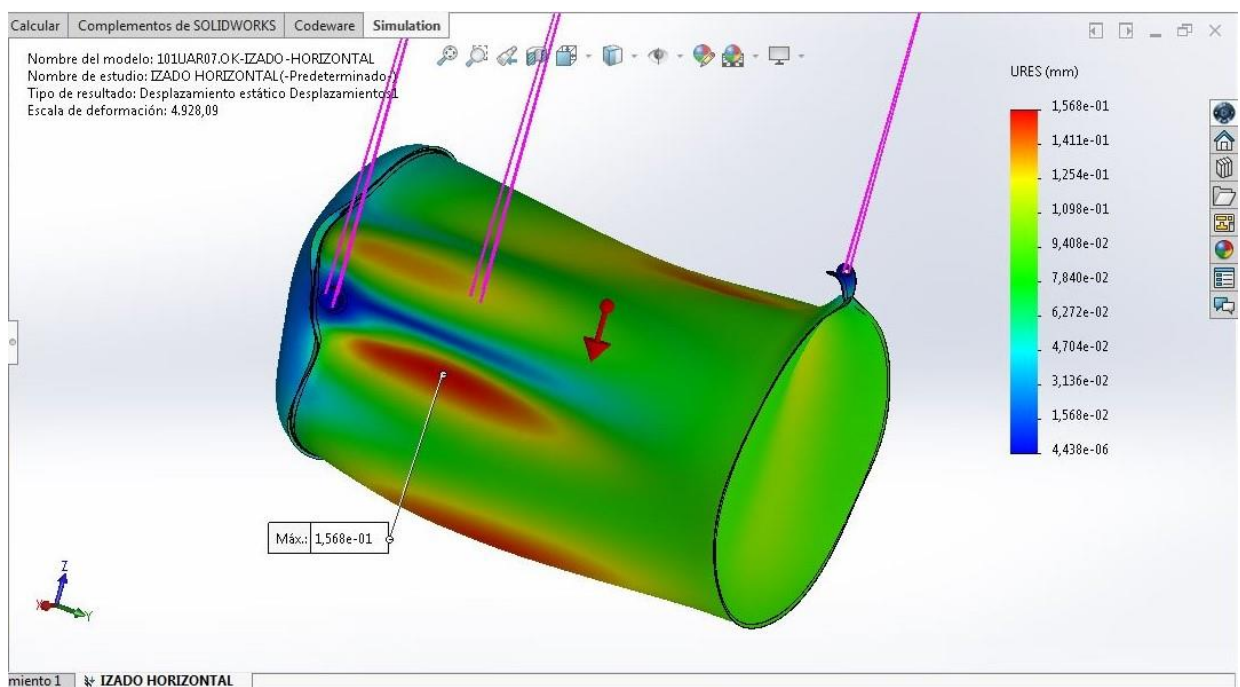
Además de las tensiones de Von Mises, SolidWorks Simulation calcula los desplazamientos de cada 1 de los nodos.

Los resultados del desplazamiento máximo y mínimo se pueden ver en la Tabla 14:

<b>Desplazamiento mínimo (mm)</b>	$4,438 \times 10^{-6}$
<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>	0,1568

*Tabla 14: Desplazamientos máximo y mínimo del tanque para el caso de izado vertical*

Además, en las Figuras 23, 24, y 25 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más se desplazan. El área de colores va de rojo, en torno a 0,16 milímetros, a azul oscuro, cerca de 0 milímetros.



*Figura 23: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal*

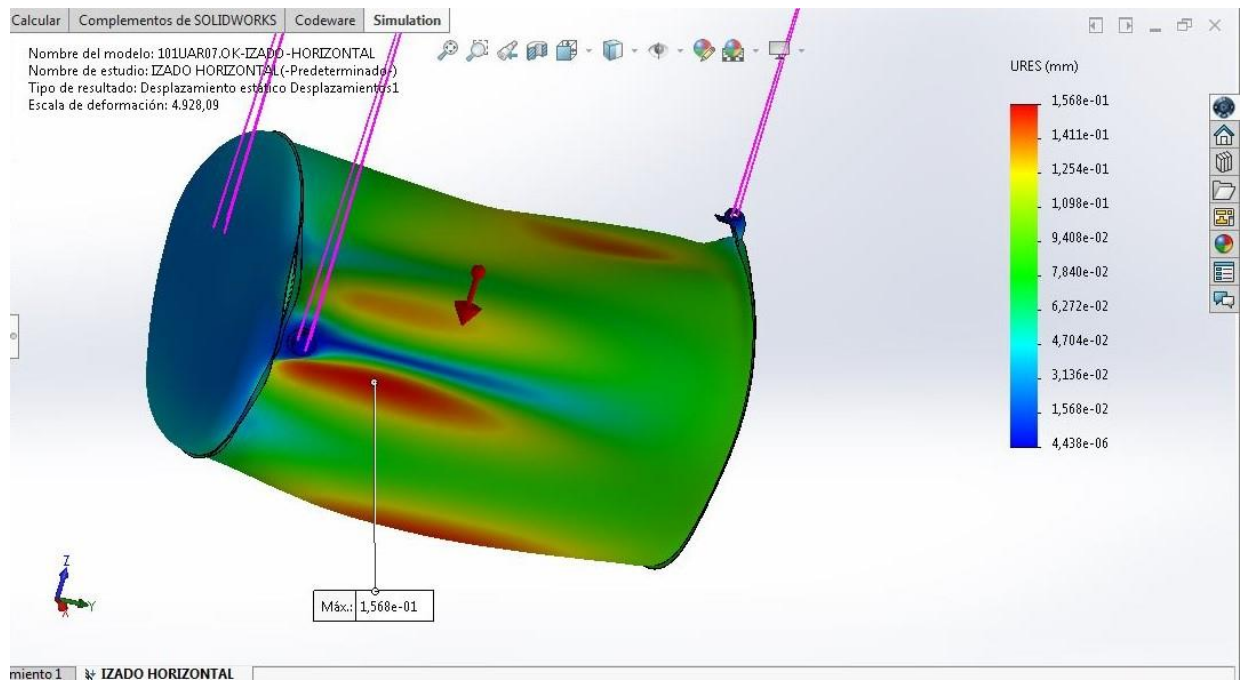


Figura 24: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal

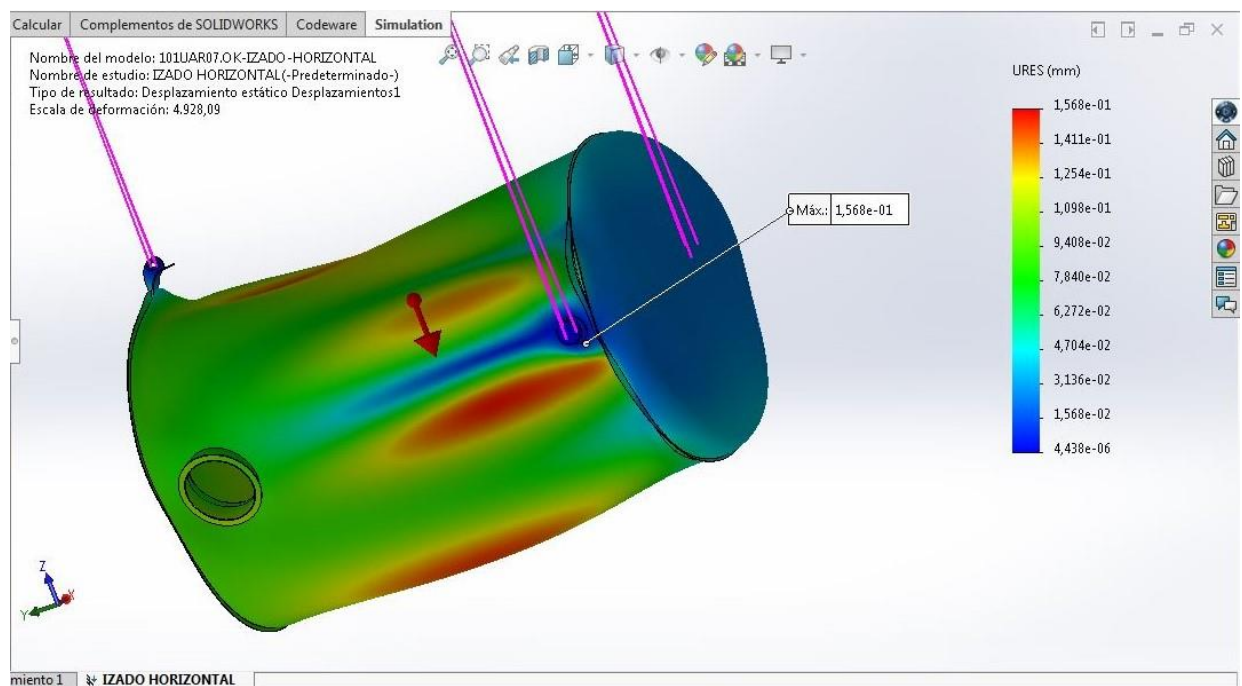


Figura 25: Desplazamientos del tanque para el caso de izado horizontal

En la Figura 23 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en una zona intermedia de la virola. Además, de las Figuras 23, 24 y 25 también se pueden sacar conclusiones. En el izado horizontal del tanque:

- El techo es lo que menos desplazamiento sufre
- El suelo sufre un desplazamiento prácticamente constante, pero muy pequeño, de en torno a 0,08 milímetros
- La virola sufre desplazamientos distintos. La mayor parte sufre en torno a 0,08 milímetros, pero hay algunas áreas que llegan a algo más de 0,15 milímetros.

**Conclusión:** El tanque para el caso de izado horizontal sufre desplazamientos en las zonas del suelo y la virola. El máximo desplazamiento del tanque es de 0,1568 milímetros, y este se da en la zona intermedia de la virola. Este resultado es lógico ya que, si se tira del tanque cuando está dispuesto horizontalmente, el máximo desplazamiento se da en la parte inferior y central, es decir, la parte intermedia de la virola. En el caso de izado vertical se producía un desplazamiento máximo de 19,77 milímetros. En comparación el desplazamiento en el izado horizontal es prácticamente nulo.

## **5 ANEXO 5: CÁLCULOS DEL APOYO DEL TANQUE EN CUNAS**

### **5.1 Introducción**

Como se ha explicado en el apartado “3.1 Introducción” del Anexo 3, los casos más críticos en el transporte del tanque son el izado vertical, el izado horizontal y el apoyo del tanque sobre unas cunas que estarán depositadas en un camión.

Esto último se corresponde con la última situación a analizar. Para el transporte desde la empresa “Montajes y Servicios Mecánicos Alva” hasta el puerto, se utilizará un camión. Y el mecanismo escogido para depositar el tanque en el camión consiste en 2 cunas con la forma de la virola.

En cuanto a las cargas que debe soportar el tanque, en este caso hay solamente 1, que es la de su propio peso debido a la gravedad. En este caso la gravedad, en dirección a la cara apoyada en el suelo de las cunas.

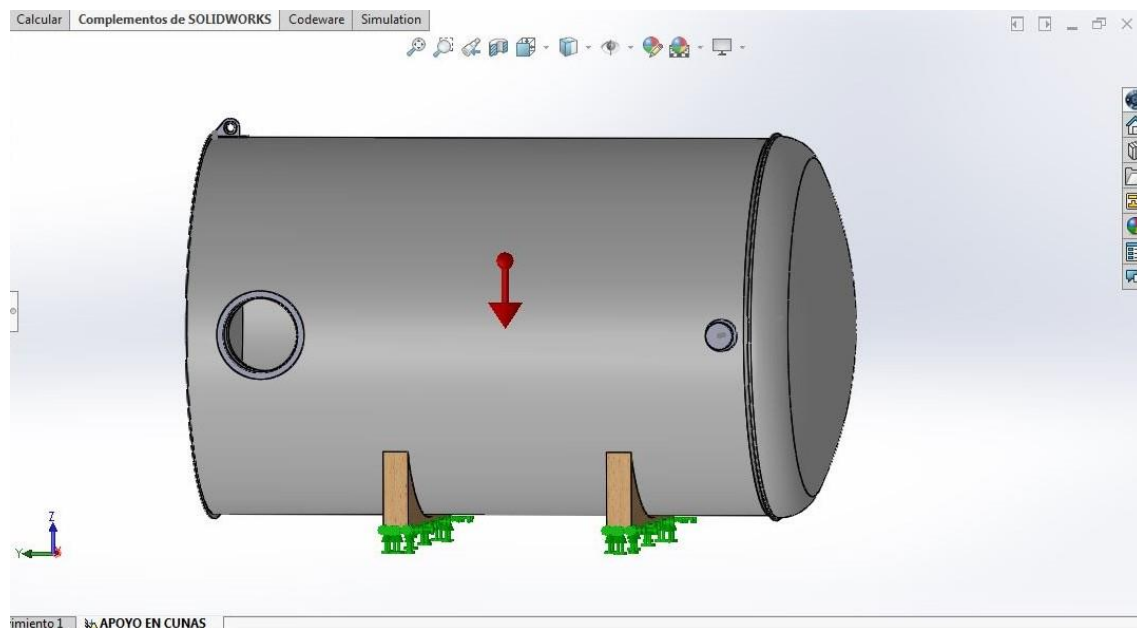


## 5.2 Datos generales

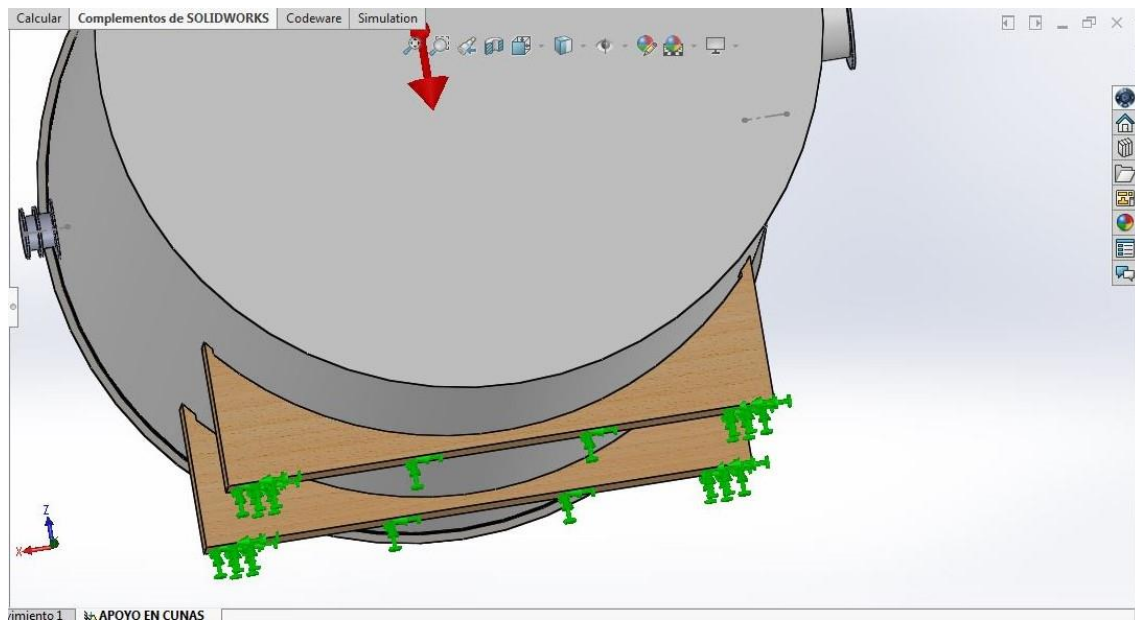
### 5.2.1 Modelado del tanque

El tanque modelado para este Anexo es el mismo que el de los anteriores. Un tanque sin la mayoría de sus tubuladuras ya que igualmente en esta situación, no afectan mucho al cálculo y el mallado sería muy complejo.

Además del tanque, se han añadido al modelado las 2 cunas. Estas son comunes para el transporte de recipientes a presión, tanques de almacenamiento, etc. Por ello sus medidas adaptadas a este tanque se han obtenido de un proveedor. Este modelado se puede observar en las Figuras 84 y 85.

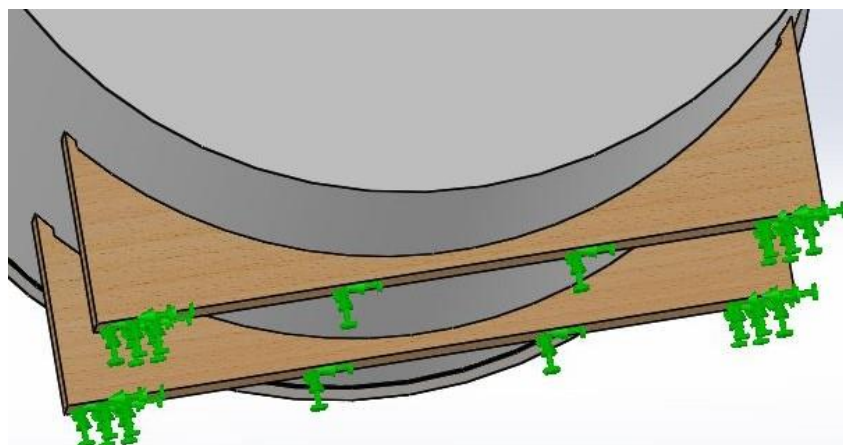


*Figura 84: Tanque modelado en SolidWorks para el caso de apoyo en cunas*



*Figura 85: Tanque modelado en SolidWorks para el caso de apoyo en cunas*

Hay un detalle en la cuna que hay que destacar. Como se puede apreciar en la Figura 86, la parte superior de la cuna no tiene toda la superficie continua. Si no que se le ha hecho en los extremos un pequeño rebaje. Esto se hace con el objetivo de poder ver la deformación del tanque por debajo, es decir, en el área de la virola que estará en contacto con la cuna. Aunque en realidad, la cuna no tiene este rebaje y es totalmente continua, es decir, se amolda completamente a la virola.



*Figura 86: Cunas para transporte en camión*

### **5.2.2 Materiales**

En cuanto a los materiales del tanque, como se ha comentado anteriormente, se trata del mismo tanque que en los Anexos anteriores, por lo que los materiales son los mismos.

El angular de coronación es de acero al carbono S275JR que tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto de los elementos del tanque: el tubo y su brida, la orejeta, los trunios de izado, el suelo, la virola y el techo, son de acero al carbono A516 – Grado 70 que tiene un límite elástico de 260 MPa.

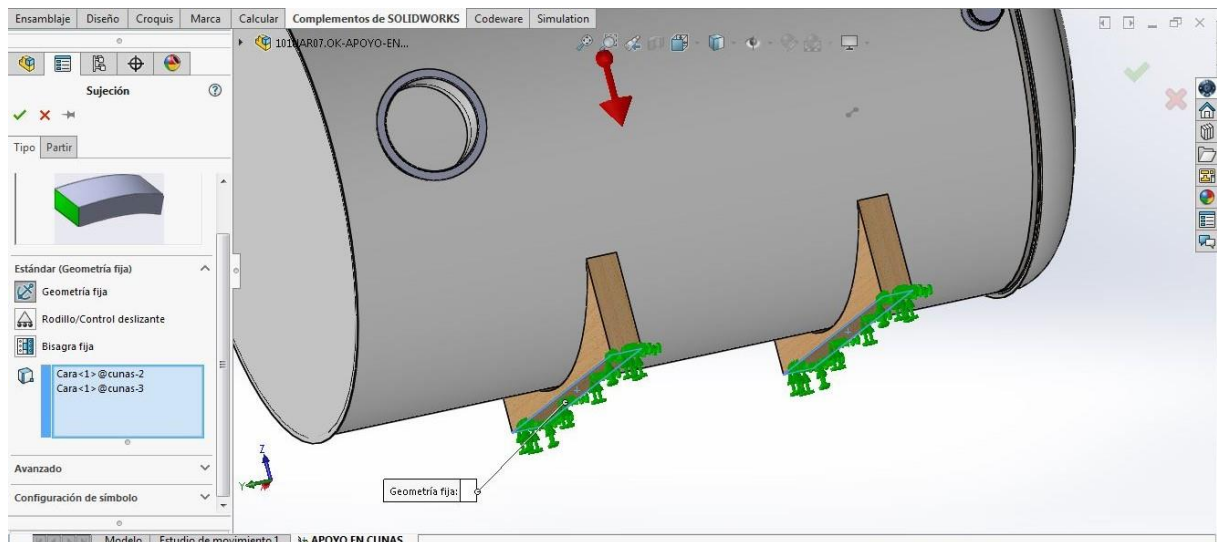
Además, las 2 cunas están hechas de madera. La madera, de información consultada en diversos artículos que se pueden encontrar en la bibliografía, tiene un límite elástico de 39 MPa. Valor obtenido de la especie “*Pinus sylvestris*”.

### **5.2.3 Conexiones**

Las conexiones se refieren al tipo de contacto que hay entre los componentes de la pieza. Es decir, al cómo se unen las diferentes partes. En este caso, se trata del mismo tipo de conexiones que en los Anexos anteriores. Una unión rígida entre todos los componentes del tanque ya que este tipo es en la práctica una unión soldada.

### **5.2.4 Sujeciones externas**

Las sujeciones externas se refieren a los apoyos de la estructura. El apoyo definido en SolidWorks para esta situación se puede ver en la Figura 87:



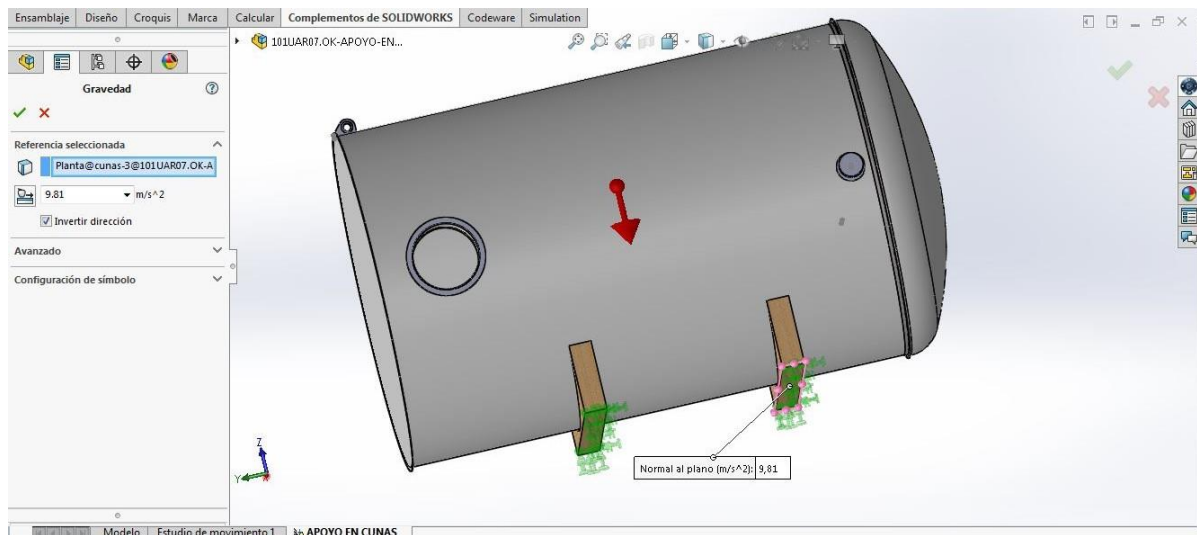
*Figura 87: Sujeciones del tanque para el caso de apoyo en cunas*

Como se puede observar en la Figura 87, tan solo se establece 1 único que apoyo, que se trata del anclaje de las 2 cunas por su cara inferior al camión.

### 5.2.5 Cargas externas

La carga externa que recibe la estructura en esta situación es tan solo 1 y se debe al peso propio del tanque debido a la acción de la gravedad. En este caso el tanque está en horizontal y la dirección hacia la que apunta la gravedad es lógicamente la perpendicular a la cara de apoyo de las cunas.

La aplicación de su propio peso se puede observar en la Figura 88:



*Figura 88: Carga externa de peso propio para el caso de apoyo en cunas del tanque*

## 5.2.6 Mallado

Nuevamente hay que realizar un mallado. Con el mallado se divide la estructura en nodos conectados que permitirán el cálculo mediante el método de elementos finitos.

Los parámetros de la malla están detallados en la Tabla 15:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	100 mm
Tamaño mínimo de elemento	20 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

<b>Número total de nodos</b>	210457
<b>Número total de elementos</b>	105054
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	1733,5
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	7,36 %
<b>Porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	69,7 %
<b>Porcentaje de elementos distorsionados</b>	0

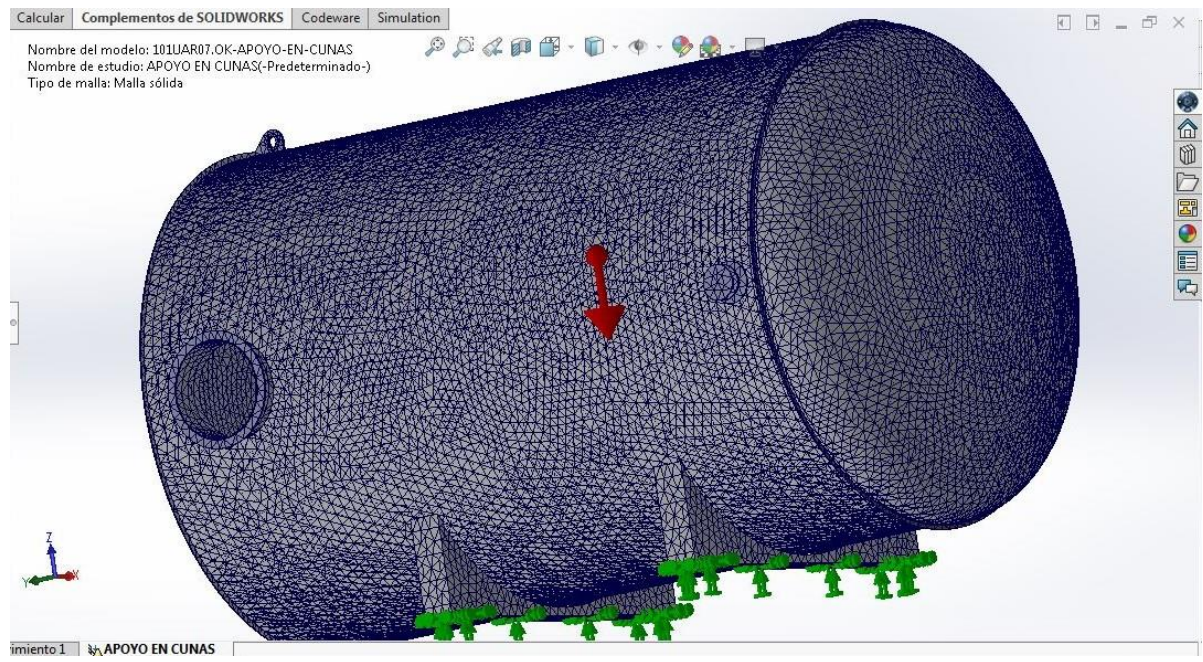
*Tabla 15: Parámetros e información de malla del tanque para el caso de apoyo en cunas*

Se trata de un mallado menos preciso que el del Anexo 2, el de la situación natural del tanque, ya que se define que el tamaño máximo de elemento sea de 100 milímetros y el mínimo de 20. Mientras que el del Anexo 2 el tamaño máximo de elemento era de 50 milímetros y el mínimo de 10.

A pesar de esto, la cantidad de nodos es suficientemente significativa para aportar información precisa sobre las tensiones y los desplazamientos del tanque.

Es el mismo mallado que se realiza para el izado vertical y horizontal, en los Anexos 3 y 4. Por lo que, los parámetros que se establecen en SolidWorks Simulation son los mismos que en la Figura 72.

En la Figura 89 se puede observar el resultado final de la malla creada:



*Figura 89: Mallado del tanque para el caso de apoyo en cunas*

## 5.3 Resultados

### 5.3.1 Tensiones

Tras ejecutar el modelo con todo lo establecido en el punto anterior (5.2 Datos generales), SolidWorks Simulation calcula las tensiones de Von Mises y los desplazamientos de cada uno de los nodos.

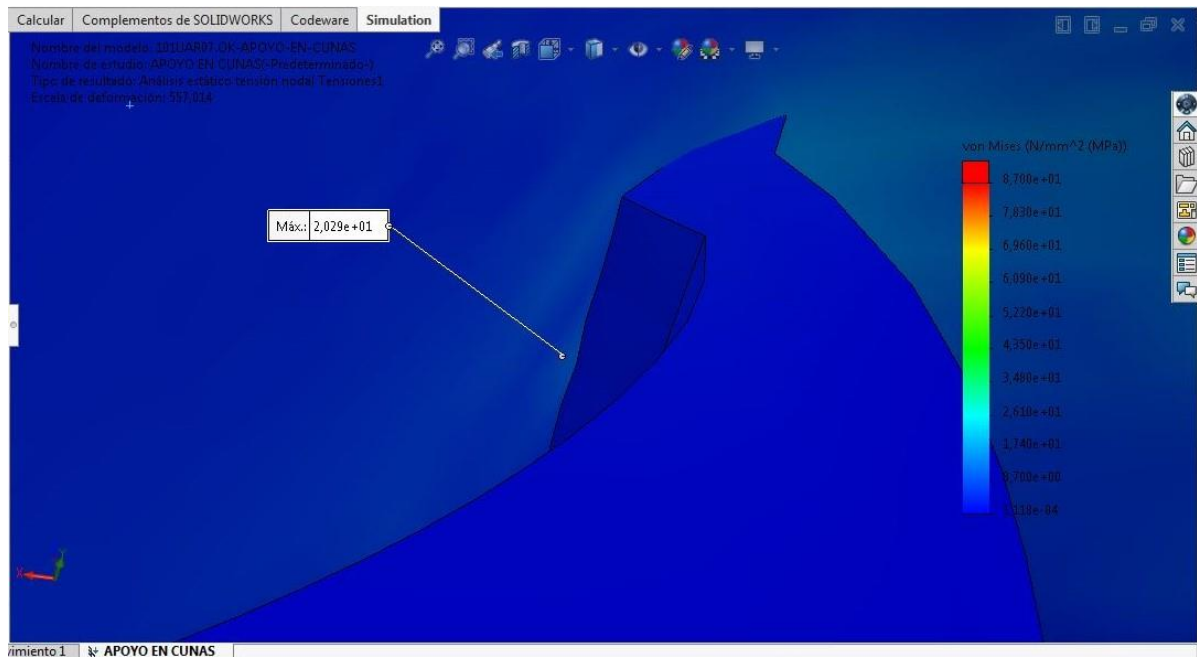
Los resultados de la tensión de Von Mises máxima y mínima se pueden ver en la Tabla 16:

<b>Tensión de Von Mises mínima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	1,118×10 <sup>-4</sup>
<b>Tensión de Von Mises máxima</b> <b>(N/mm<sup>2</sup>) o (MPa)</b>	20,29

*Tabla 16: Tensión de Von Mises máxima y mínima del tanque para el caso de apoyo en cunas*

Además, en la Figura 26 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más tensión sufren. En este caso, la escala de colores utilizada por SolidWorks Simulation no es buena. Y no se pueden distinguir las áreas más afectadas. A pesar de ello, se puede apreciar el lugar donde se encuentra el nodo de mayor presión de Von Mises.





*Figura 26: Tensiones de Von Mises del tanque para el caso de apoyo en cunas*

En la Figura 26 se puede apreciar que el punto que sufre una mayor tensión de Von Mises se encuentra en la virola cerca del contacto entre cuna y virola. Además, se puede apreciar que:

- Es únicamente alrededor del contacto entre cuna y virola donde las tensiones son más altas en la estructura. En esta zona se sufren tensiones en torno a 20 MPa.
- En el resto de la estructura las tensiones son muy pequeñas. No son superiores a 1 MPa.

Una vez que se tiene la máxima tensión de Von Mises, se puede hacer la comprobación del límite elástico. Para ello se va a utilizar el criterio de máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises. La explicación de este criterio se encuentra en el punto “2.3.1 Tensiones” del Anexo 2. A modo de resumen: Se puede decir que una estructura falla cuando en cualquiera de sus puntos, la tensión de Von Mises supera al límite elástico del material de la estructura, Fórmula 13:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \geq \sigma_Y$$

*Fórmula 13: Criterio de Von Mises para fallo en términos de tensión*

A continuación, se va a comprobar si el tanque falla o no para la situación de este Anexo 5, para el apoyo en cunas del tanque. En el apartado “5.2.2 Materiales”, se detallan los materiales y por tanto sus características como el límite elástico. El angular de coronación está hecho de acero al carbono S275JR y tiene un límite elástico de 275 MPa. El resto del tanque está hecho de acero al carbono A516 – Grado 70 y tiene un límite elástico de 260 MPa. Además, las cunas están hechas de madera y tienen un límite elástico de 39 MPa.

Según la Fórmula 13 queda claro que el tanque no fallará en caso de que la mayor tensión de Von Mises que tenga que soportar sea menor a la tensión límite elástico del material del tanque. La mayor tensión de Von Mises que soporta el tanque es de 20,29 MPa y como se puede apreciar en la Figura 26, se da en la virola, cerca del contacto entre virola y cuna. Es por esto que el límite elástico con el que se debe comparar es el de 260 MPa.

$$\sigma_{VM,m\acute{a}xima} = 20,29 \text{ MPa} < 260 \text{ MPa} = \sigma_Y$$

Como se puede ver, el tanque no falla. Y para cualquier punto del angular de coronación también se sabe que no fallará ya que la tensión de Von Mises es menor de 20,29 MPa y la tensión límite elástico es de 275 MPa. Lo mismo ocurre con las cunas, no fallará ya que la tensión de Von Mises es menor de 20,29 MPa y la tensión límite elástico es de 39 MPa.

Se puede apreciar a simple vista que soporta esa tensión de manera holgada. Para magnificar esto, se va a calcular el factor de seguridad. Este aporta información sobre

cuantas veces más tendría que ser mayor la tensión de Von Mises para que el tanque falle, se deforme plásticamente:

$$Factor_{seguridad} = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM,m\acute{a}xima}} = \frac{260 \text{ MPa}}{20,29 \text{ MPa}} = 12,81$$

Sería necesaria aplicar una tensión de Von Mises 12,81 veces mayor para que el tanque en esta situación fallase.

**Conclusión:** El tanque para el caso de apoyo en cunas no falla, es decir, no se va a deformar plásticamente. El tanque soporta una tensión de Von Mises máxima de 20,29 MPa, que se encuentra en la virola, cerca del contacto virola-cuna. Estos contactos virola-cuna son los que más tensión sufren en general. El factor de seguridad del tanque en este caso es de 12,81. Si se compara con casos anteriores, se observa que tiene que soportar tensiones mucho más altas que en la situación natural, pero similares a las de izado vertical y horizontal. Tras analizar la tensión de todos los casos en los Anexos 2, 3, 4 y 5 se puede concluir que el tanque nunca se deformará plásticamente para los supuestos analizados.

### 5.3.2 Desplazamientos

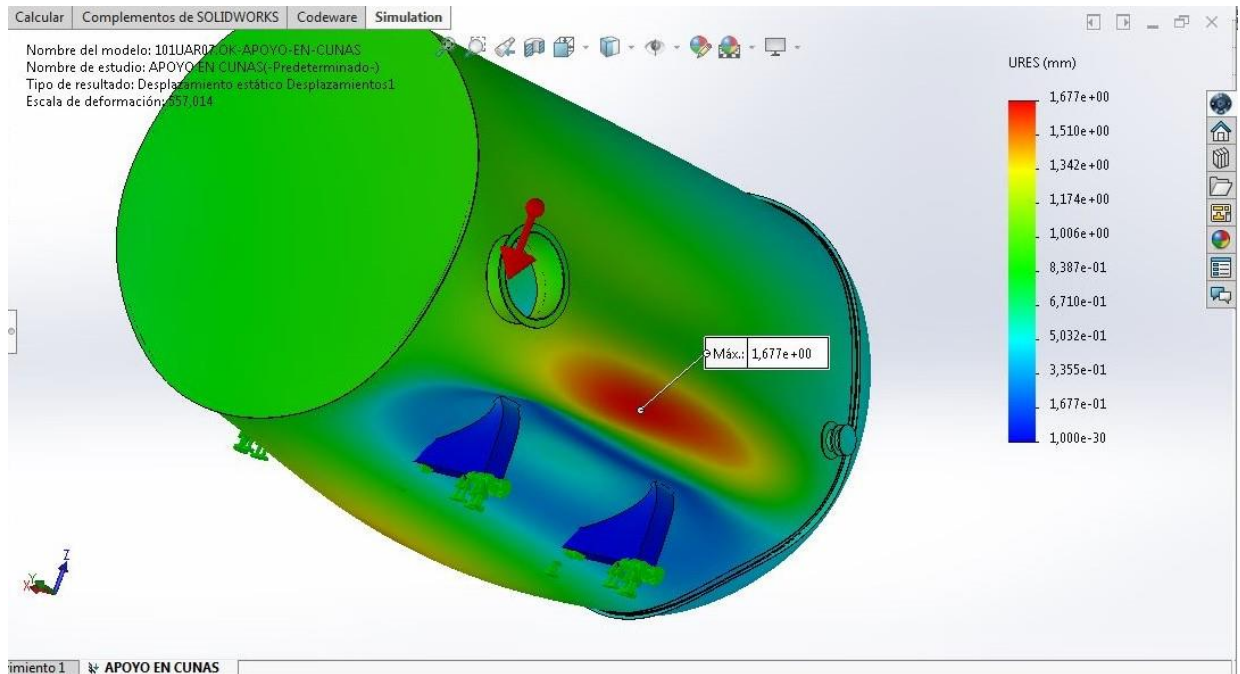
Además de las tensiones de Von Mises, SolidWorks Simulation calcula los desplazamientos de cada 1 de los nodos.

Los resultados del desplazamiento máximo y mínimo se pueden ver en la Tabla 17:

<b>Desplazamiento mínimo (mm)</b>	0
<b>Desplazamiento máximo (mm)</b>	1,67

*Tabla 17: Desplazamientos máximo y mínimo del tanque para el caso de apoyo en cunas*

Además, en las Figuras 27, 28, y 29 se puede observar el modelo coloreado para así poder distinguir las áreas del tanque que más se desplazan. El área de colores va de rojo, en torno a 1,6 milímetros, a azul oscuro, cerca de 0 milímetros.



*Figura 27: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas*

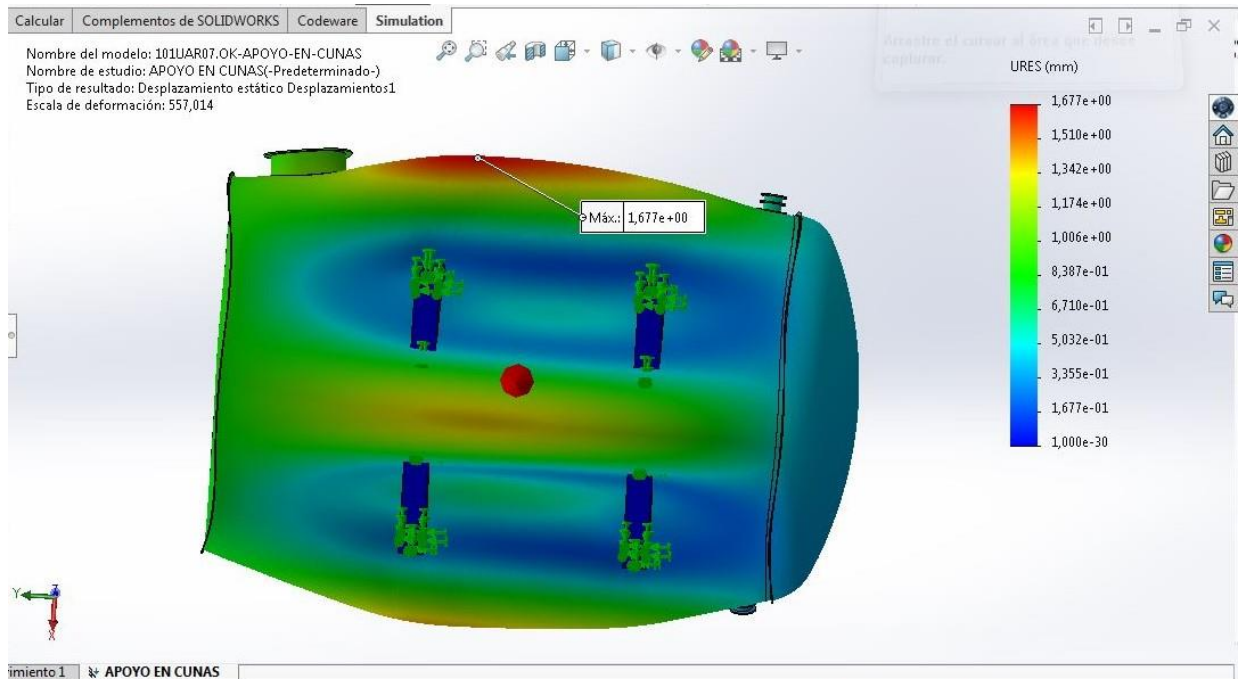


Figura 28: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas

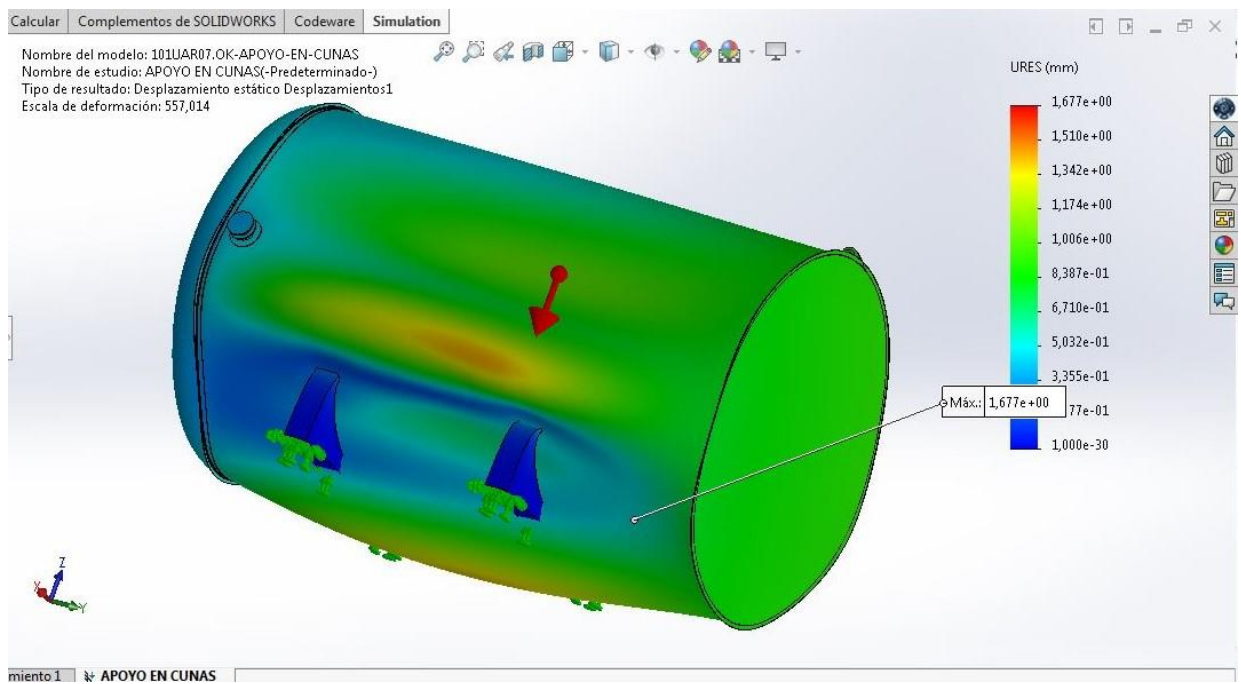


Figura 29: Desplazamientos del tanque para el caso de apoyo en cunas

En la Figura 27 se puede apreciar que el punto que sufre un mayor desplazamiento se encuentra en la virola, en una zona entre las 2 cunas donde se abomba ligeramente la

virola. Además, de las Figuras 27, 28 y 29 también se pueden sacar conclusiones. En el apoyo del tanque en cunas:

- El techo es lo que menos desplazamiento sufre
- El suelo sufre un desplazamiento prácticamente constante, pero muy pequeño, de en torno a 0,7 milímetros
- La virola sufre desplazamientos distintos. La mayor parte sufre en torno a 0,7 milímetros, pero hay algunas áreas que llegan a algo más de 1,6 milímetros. Estas áreas se dan un poco por encima de la altura de las cunas. Mientras que la zona de la virola pegada a las cunas apenas sufre desplazamiento.
- Las cunas tienen un desplazamiento prácticamente nulo. Tan solo la zona de contacto con la virola está en torno a 0,5 milímetros.

**Conclusión:** El tanque para el caso de apoyo en cunas sufre desplazamientos sobre todo en las zonas del suelo y la virola. El máximo desplazamiento del tanque es de 1,67 milímetros, y este se da en la virola, en una zona entre las 2 cunas algo superior en altura a las cunas. Este resultado es lógico ya que, al apoyarse el tanque sobre las cunas por ambos lados de la virola se puede abombar ligeramente. En el caso de izado vertical se producía un desplazamiento máximo de 19,77 milímetros. En comparación el desplazamiento en este caso es pequeño, pero apreciable.



**DOCUMENTO III:**

**PLIEGO DE**

**CONDICIONES**





# ÍNDICE DEL PLIEGO DE

## CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS .....	193
1.1. Disposiciones generales.....	193
1.1.1. Disposiciones de carácter general.....	193
1.1.2. Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares .....	198
1.1.3. Disposiciones de las recepciones de edificios y obras anejas .....	205
1.2. Disposiciones facultativas .....	210
1.2.1. Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación...	210
1.2.2. La Dirección Facultativa .....	213
1.2.3. Visitas facultativas.....	213
1.2.4. Obligaciones de los agentes intervinientes.....	214
1.2.5. Documentación final de obra: Libro del Edificio .....	214
1.3. Disposiciones económicas .....	216
1.3.1. Definición .....	216
1.3.2. Contrato de obra .....	216
1.3.3. Criterio general.....	217
1.3.4. Fianzas .....	217
1.3.5. De los precios .....	218
1.3.6. Obras por administración .....	223
1.3.7. Valoración y abono de los trabajos.....	224

1.3.8.	Indemnizaciones Mutuas.....	227
1.3.9.	Varios.....	227
1.3.10.	Retenciones en concepto de garantía.....	229
1.3.11.	Plazos de ejecución: Planning de obra .....	229
1.3.12.	Liquidación económica de las obras .....	230
1.3.13.	Liquidación final de la obra .....	230
2.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES.....	231
2.1.	Prescripciones sobre los materiales .....	231
2.1.1.	Garantías de calidad (Marcado CE) .....	232
2.1.2.	Aceros para estructuras metálicas .....	235
2.2.	Prescripciones en cuanto a la ejecución por unidad de obra .....	237
2.2.1.	Acondicionamiento del terreno .....	242
2.2.2.	Control de calidad y ensayos .....	244
2.3.	Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado.....	246
2.3.1.	Estructuras .....	246
2.4.	Prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición.....	247



## **1. PLIEGO DE CONDICIONES ADMINISTRATIVAS**

### **1.1. Disposiciones generales**

#### **1.1.1. Disposiciones de carácter general**

##### **1.1.1.1. Objeto del Pliego de Condiciones**

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

##### **1.1.1.2. Contrato de obra**

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el Director de Obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

##### **1.1.1.3. Documentación del contrato de obra**

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra
- El presente Pliego de Condiciones
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

#### **1.1.1.4. Reglamentación urbanística**

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas, a las Normas y al Planeamiento Vigente.

#### **1.1.1.5. Formalización del Contrato de Obra**

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anejos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

El Contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General.

Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne el Contratista.

#### **1.1.1.6. Jurisdicción competente**

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

#### **1.1.1.7. Responsabilidad del Contratista**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

#### **1.1.1.8. Accidentes de trabajo**

Es de obligado cumplimiento el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios.

Es responsabilidad del Coordinador de Seguridad y Salud, en virtud del Real Decreto 1627/97, el control y el seguimiento, durante toda la ejecución de la obra, del Plan de Seguridad y Salud redactado por el Contratista.

#### **1.1.1.9. Daños y perjuicios a terceros**

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el Promotor o Propiedad, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

#### **1.1.1.10. Anuncios y carteles**

Sin previa autorización del Promotor, no se podrán colocar en las obras ni en sus vallas más inscripciones o anuncios que los convenientes al régimen de los trabajos y los exigidos por la policía local.



#### **1.1.1.11. Copia de documentos**

El Contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

#### **1.1.1.12. Suministro de materiales**

Se especificará en el Contrato la responsabilidad que pueda caber al Contratista por retraso en el plazo de terminación o en plazos parciales, como consecuencia de deficiencias o faltas en los suministros.

#### **1.1.1.13. Causas de rescisión del contrato de obra**

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacitación del Contratista.
- La quiebra del Contratista.
- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
  - a) La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del Director de Obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.
  - b) Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres

meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.

- Que el Contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
- El abandono de la obra sin causas justificadas.
- La mala fe en la ejecución de la obra.

#### **1.1.1.14. Omisiones: Buena fe**

Las relaciones entre el Promotor y el Contratista, reguladas por el presente Pliego de Condiciones y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al Promotor por parte del Contratista mediante la ejecución de una obra, basándose en la BUENA FE mutua de ambas partes, que pretenden beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que puedan existir en este Pliego y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la BUENA FE de las partes, que las subsanarán debidamente con el fin de conseguir una adecuada CALIDAD FINAL de la obra.

#### **1.1.2. Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares**

Se describen las disposiciones básicas a considerar en la ejecución de las obras, relativas a los trabajos, materiales y medios auxiliares, así como a las recepciones de los edificios objeto del presente proyecto y sus obras anejas.

#### **1.1.2.1. Accesos y vallados**

El Contratista dispondrá, por su cuenta, los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir el Director de Ejecución de la Obra su modificación o mejora.

#### **1.1.2.2. Replanteo**

El Contratista iniciará "in situ" el replanteo de las obras, señalando las referencias principales que mantendrá como base de posteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta económica.

Asimismo, someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y, una vez éste haya dado su conformidad, preparará el Acta de Inicio y Replanteo de la Obra acompañada de un plano de replanteo definitivo, que deberá ser aprobado por el Director de Obra. Será responsabilidad del Contratista la deficiencia o la omisión de este trámite.

#### **1.1.2.3. Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos**

El Contratista dará comienzo a las obras en el plazo especificado en el respectivo contrato, desarrollándose de manera adecuada para que dentro de los períodos parciales señalados se realicen los trabajos, de modo que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo establecido en el contrato.

Será obligación del Contratista comunicar a la Dirección Facultativa el inicio de las obras, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, al menos con tres días de antelación.

#### **1.1.2.4. Orden de los trabajos**

La determinación del orden de los trabajos es, generalmente, facultad del Contratista, salvo en aquellos casos en que, por circunstancias de naturaleza técnica, se estime conveniente su variación por parte de la Dirección Facultativa.

#### **1.1.2.5. Facilidades para otros contratistas**

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista dará todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que le sean encomendados a los Subcontratistas u otros Contratistas que intervengan en la ejecución de la obra. Todo ello sin perjuicio de las compensaciones económicas a que haya lugar por la utilización de los medios auxiliares o los suministros de energía u otros conceptos.

En caso de litigio, todos ellos se ajustarán a lo que resuelva la Dirección Facultativa.

#### **1.1.2.6. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor**

Cuando se precise ampliar el Proyecto, por motivo imprevisto o por cualquier incidencia, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones de la Dirección Facultativa en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Contratista está obligado a realizar, con su personal y sus medios materiales, cuanto la Dirección de Ejecución de la Obra disponga para apeos, apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

#### **1.1.2.7. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto**

El Contratista podrá requerir del Director de Obra o del Director de Ejecución de la Obra, según sus respectivos cometidos y atribuciones, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de la obra proyectada.

Cuando se trate de interpretar, aclarar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos, croquis, órdenes e instrucciones correspondientes, se comunicarán necesariamente por escrito al Contratista, estando éste a su vez obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto del Director de Ejecución de la Obra, como del Director de Obra.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el Contratista en contra de las disposiciones tomadas por la Dirección Facultativa, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual le dará el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

#### **1.1.2.8. Prorroga por causa de fuerza mayor**

Si, por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista, éste no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para su cumplimiento, previo informe favorable del Director de Obra. Para ello, el Contratista expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

#### **1.1.2.9. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra**

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito, no se le hubiese proporcionado.

#### **1.1.2.10. Trabajos defectuosos**

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en el proyecto, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo estipulado.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, el Contratista es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que puedan existir por su mala ejecución, no siendo un eximente el que la Dirección Facultativa lo haya examinado o reconocido con anterioridad, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las Certificaciones Parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución de la Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos y equipos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o una vez finalizados con anterioridad a la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean sustituidas o demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado a expensas del Contratista. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la sustitución, demolición

reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de Obra, quien mediará para resolverla.

#### **1.1.2.11. Vicios ocultos**

El Contratista es el único responsable de los vicios ocultos y de los defectos de la construcción, durante la ejecución de las obras y el periodo de garantía, hasta los plazos prescritos después de la terminación de las obras en la vigente L.O.E., aparte de otras responsabilidades legales o de cualquier índole que puedan derivarse.

Si el Director de Ejecución de la Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará, cuando estime oportuno, realizar antes de la recepción definitiva los ensayos, destructivos o no, que considere necesarios para reconocer o diagnosticar los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de Obra.

El Contratista demolerá, y reconstruirá posteriormente a su cargo, todas las unidades de obra mal ejecutadas, sus consecuencias, daños y perjuicios, no pudiendo eludir su responsabilidad por el hecho de que el Director de Obra y/o el Director del Ejecución de Obra lo hayan examinado o reconocido con anterioridad, o que haya sido conformada o abonada una parte o la totalidad de las obras mal ejecutadas.

#### **1.1.2.12. Procedencia de materiales, aparatos y equipos**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales, aparatos y equipos de todas clases donde considere oportuno y conveniente para sus intereses, excepto en aquellos casos en los que se preceptúe una procedencia y características específicas en el proyecto.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo, acopio y puesta en obra, el Contratista deberá presentar al Director de Ejecución de la Obra una lista completa de

los materiales, aparatos y equipos que vaya a utilizar, en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre sus características técnicas, marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

#### **1.1.2.13. Presentación de muestras**

A petición del Director de Obra, el Contratista presentará las muestras de los materiales, aparatos y equipos, siempre con la antelación prevista en el calendario de obra.

#### **1.1.2.14. Materiales, aparatos y equipos defectuosos**

Cuando los materiales, aparatos, equipos y elementos de instalaciones no fuesen de la calidad y características técnicas prescritas en el proyecto, no tuvieran la preparación en él exigida o cuando, a falta de prescripciones formales, se reconociera o demostrara que no son los adecuados para su fin, el Director de Obra, a instancias del Director de Ejecución de la Obra, dará la orden al Contratista de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o sean los adecuados al fin al que se destinen.

Si, a los 15 días de recibir el Contratista orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, ésta no ha sido cumplida, podrá hacerlo el Promotor o Propiedad a cuenta de Contratista.

En el caso de que los materiales, aparatos, equipos o elementos de instalaciones fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se recibirán con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Contratista prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

#### **1.1.2.15. Gastos ocasionados por pruebas y ensayos**

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras correrán a cargo y cuenta del Contratista.



Todo ensayo que no resulte satisfactorio, no se realice por omisión del Contratista, o que no ofrezca las suficientes garantías, podrá comenzarse nuevamente o realizarse nuevos ensayos o pruebas especificadas en el proyecto, a cargo y cuenta del Contratista y con la penalización correspondiente, así como todas las obras complementarias a que pudieran dar lugar cualquiera de los supuestos anteriormente citados y que el Director de Obra considere necesarios.

#### **1.1.2.16. Limpieza de las obras**

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus alrededores tanto de escombros como de materiales sobrantes, retirar las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como ejecutar todos los trabajos y adoptar las medidas que sean apropiadas para que la obra presente buen aspecto.

### **1.1.3. Disposiciones de las recepciones de edificios y obras anejas**

#### **1.1.3.1. Consideraciones de carácter general**

La recepción de la obra es el acto por el cual el Contratista, una vez concluida la obra, hace entrega de la misma al Promotor y es aceptada por éste. Podrá realizarse con o sin reservas y deberá abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes.

La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el Promotor y el Contratista, haciendo constar:

- Las partes que intervienen.
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma.
- El coste final de la ejecución material de la obra.

- La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos, se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción.
- Las garantías que, en su caso, se exijan al Contratista para asegurar sus responsabilidades.

Asimismo, se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el Director de Obra y el Director de la Ejecución de la Obra.

El Promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecúa a las condiciones contractuales.

En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos treinta días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

El cómputo de los plazos de responsabilidad y garantía será el establecidos en la L.O.E., y se iniciará a partir de la fecha en que se suscriba el acta de recepción, o cuando se entienda ésta tácitamente producida según lo previsto en el apartado anterior.

### **1.1.3.2. Recepción provisional**

Treinta días antes de dar por finalizadas las obras, comunicará el Director de Ejecución de la Obra al Promotor o Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir el acto de la Recepción Provisional.

Ésta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Contratista, del Director de Obra y del Director de Ejecución de la Obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección extenderán el correspondiente Certificado de Final de Obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar expresamente en el Acta y se darán al Contratista las oportunas instrucciones para subsanar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con la pérdida de la fianza.

### **1.1.3.3. Documentación final de la obra**

El Director de Ejecución de la Obra, asistido por el Contratista y los técnicos que hubieren intervenido en la obra, redactará la documentación final de las obras, que se facilitará al Promotor, con las especificaciones y contenidos dispuestos por la legislación vigente, en el caso de viviendas, con lo que se establece en los párrafos 2, 3, 4 y 5, del

apartado 2 del artículo 4º del Real Decreto 515/1989, de 21 de Abril. Esta documentación incluye el Manual de Uso y Mantenimiento del Edificio.

#### **1.1.3.4. Medición definitiva y liquidación provisional de la obra**

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Ejecución de la Obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Contratista o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el Director de Obra con su firma, servirá para el abono por el Promotor del saldo resultante menos la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### **1.1.3.5. Plazo de garantía**

El plazo de garantía deberá estipularse en el contrato privado y, en cualquier caso, nunca deberá ser inferior a seis meses

#### **1.1.3.6. Conservación de las obras recibidas provisionalmente**

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones ocasionadas por el uso correrán a cargo de la Propiedad y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo del Contratista.

#### **1.1.3.7. Recepción definitiva**

La recepción definitiva se realizará después de transcurrido el plazo de garantía, en igual modo y con las mismas formalidades que la provisional. A partir de esa fecha cesará la obligación del Contratista de reparar a su cargo aquellos desperfectos

inherentes a la normal conservación de los edificios, y quedarán sólo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran derivar de los vicios de construcción.

#### **1.1.3.8. Prórroga del plazo de garantía**

Si, al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de Obra indicará al Contratista los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias. De no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

#### **1.1.3.9. Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida**

En caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo fijado, la maquinaria, instalaciones y medios auxiliares, a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa sin problema alguno.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos anteriormente. Transcurrido el plazo de garantía, se recibirán definitivamente según lo dispuesto anteriormente.

Para las obras y trabajos no determinados, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## **1.2. Disposiciones facultativas**

### **1.2.1. Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación**

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.).

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la L.O.E. y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas en el capítulo III "Agentes de la edificación", considerándose:

#### **1.2.1.1. El Promotor**

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios.

Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la L.O.E.

#### **1.2.1.2. El Projectista**

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la L.O.E., cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

#### **1.2.1.3. El Constructor o Contratista**

Es el agente que asume, contractualmente ante el Promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

CABE EFECTUAR ESPECIAL MENCIÓN DE QUE LA LEY SEÑALA COMO RESPONSABLE EXPLÍCITO DE LOS VICIOS O DEFECTOS CONSTRUCTIVOS AL CONTRATISTA GENERAL DE LA OBRA, SIN PERJUICIO DEL DERECHO DE REPETICIÓN DE ÉSTE HACIA LOS SUBCONTRATISTAS.

#### **1.2.1.4. El Constructor o Contratista**

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de

conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del Director de Obra.

#### **1.2.1.5. El Director de la Ejecución de la Obra**

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el Arquitecto, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estime necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

#### **1.2.1.6. Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Son entidades de control de calidad de la edificación aquéllas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.



### **1.2.1.7. Los suministradores de productos**

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

### **1.2.2. La Dirección Facultativa**

En correspondencia con la L.O.E., la Dirección Facultativa está compuesta por la Dirección de Obra y la Dirección de Ejecución de la Obra. A la Dirección Facultativa se integrará el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, en el caso de que se haya adjudicado dicha misión a facultativo distinto de los anteriores.

Representa técnicamente los intereses del promotor durante la ejecución de la obra, dirigiendo el proceso de construcción en función de las atribuciones profesionales de cada técnico participante.

### **1.2.3. Visitas facultativas**

Son las realizadas a la obra de manera conjunta o individual por cualquiera de los miembros que componen la Dirección Facultativa. La intensidad y número de visitas dependerá de los cometidos que a cada agente le son propios, pudiendo variar en función de los requerimientos específicos y de la mayor o menor exigencia presencial requerible al técnico al efecto en cada caso y según cada una de las fases de la obra. Deberán adaptarse al proceso lógico de construcción, pudiendo los agentes ser o no

coincidentes en la obra en función de la fase concreta que se esté desarrollando en cada momento y del cometido exigible a cada cual.

#### **1.2.4. Obligaciones de los agentes intervinientes**

Las obligaciones de los agentes que intervienen en la edificación son las contenidas en los artículos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, del capítulo III de la L.O.E. y demás legislación aplicable.

#### **1.2.5. Documentación final de obra: Libro del Edificio**

De acuerdo al Artículo 7 de la Ley de Ordenación de la Edificación, una vez finalizada la obra, el proyecto con la incorporación, en su caso, de las modificaciones debidamente aprobadas, será facilitado al promotor por el Director de Obra para la formalización de los correspondientes trámites administrativos.

A dicha documentación se adjuntará, al menos, el acta de recepción, la relación identificativa de los agentes que han intervenido durante el proceso de edificación, así como la relativa a las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio y sus instalaciones, de conformidad con la normativa que le sea de aplicación.

Toda la documentación a que hacen referencia los apartados anteriores, que constituirá el Libro del Edificio, será entregada a los usuarios finales del edificio.

##### **1.2.5.1. Los propietarios y los usuarios**

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que ésta cuenta.

Son obligaciones de los usuarios sean o no propietarios, la utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en la documentación de la obra ejecutada.

### **1.3. Disposiciones económicas**

#### **1.3.1. Definición**

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

#### **1.3.2. Contrato de obra**

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, COORDINAR, DIRIGIR y CONTROLAR la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.
- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- Presupuesto del Contratista.

- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

### **1.3.3. Criterio general**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### **1.3.4. Fianzas**

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

#### **1.3.4.1. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

#### **1.3.4.2. Devolución de las fianzas**

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

#### **1.3.4.3. Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales**

Si el Promotor, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

#### **1.3.5. De los precios**

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

#### **1.3.5.1. Precio básico**

Es el precio por unidad (ud, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

#### **1.3.5.2. Precio unitario**

Es el precio de una unidad de obra que obtendremos como suma de los siguientes costes:

- Costes directos: calculados como suma de los productos "precio básico x cantidad" de la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en la ejecución de la unidad de obra.
- Medios auxiliares: Costes directos complementarios, calculados en forma porcentual como porcentaje de otros componentes, debido a que representan los costes directos que intervienen en la ejecución de la unidad de obra y que son de difícil cuantificación. Son diferentes para cada unidad de obra.
- Costes indirectos: aplicados como un porcentaje de la suma de los costes directos y medios auxiliares, igual para cada unidad de obra debido a que representan los costes de los factores necesarios para la ejecución de la obra que no se corresponden a ninguna unidad de obra en concreto.

En relación a la composición de los precios, el vigente Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre) establece que la composición y el cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se base en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados.

Considera costes directos:

- La mano de obra que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones anteriormente citadas.

Deben incluirse como costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorio, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, excepto aquéllos que se reflejen en el presupuesto valorados en unidades de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del proyecto a la vista de la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto y de su previsible plazo de ejecución.

Las características técnicas de cada unidad de obra, en las que se incluyen todas las especificaciones necesarias para su correcta ejecución, se encuentran en el apartado de 'Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra.', junto a la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra.

Si en la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra no figurase alguna operación necesaria para su correcta ejecución, se entiende que está incluida en el



precio de la unidad de obra, por lo que no supondrá cargo adicional o aumento de precio de la unidad de obra contratada.

Para mayor aclaración, se exponen algunas operaciones o trabajos, que se entiende que siempre forman parte del proceso de ejecución de las unidades de obra:

- El transporte y movimiento vertical y horizontal de los materiales en obra, incluso carga y descarga de los camiones.
- Eliminación de restos, limpieza final y retirada de residuos a vertedero de obra.
- Transporte de escombros sobrantes a vertedero autorizado.
- Montaje, comprobación y puesta a punto.
- Las correspondientes legalizaciones y permisos en instalaciones.
- Maquinaria, andamiajes y medios auxiliares necesarios.

Trabajos que se considerarán siempre incluidos y para no ser reiterativos no se especifican en cada una de las unidades de obra.

#### **1.3.5.3. Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

#### **1.3.5.4. Precios contradictorios**

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el Promotor, por medio del Director de Obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el contrato de obra o, en su defecto, antes de quince días hábiles desde que se le comunique fehacientemente al Director de Obra. Si subsiste la diferencia, se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto y, en segundo lugar, al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiese se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato de obra. Nunca se tomará para la valoración de los correspondientes precios contradictorios la fecha de la ejecución de la unidad de obra en cuestión.

#### **1.3.5.5. Reclamación de aumento de precios**

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras.

#### **1.3.5.6. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se

estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

#### **1.3.5.7. De la revisión de los precios contratados**

El presupuesto presentado por el Contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

#### **1.3.5.8. Acopio de materiales**

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

### **1.3.6. Obras por administración**

Se denominan "Obras por administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el Promotor, bien por sí mismo, por un representante suyo o por mediación de un Contratista.

Las obras por administración se clasifican en dos modalidades:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta.

Según la modalidad de contratación, en el contrato de obra se regulará:

- Su liquidación.

- El abono al Contratista de las cuentas de administración delegada.
- Las normas para la adquisición de los materiales y aparatos.
- Responsabilidades del Contratista en la contratación por administración en general y, en particular, la debida al bajo rendimiento de los obreros.

### **1.3.7. Valoración y abono de los trabajos**

#### **1.3.7.1. Forma y plazos de abono de las obras**

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (Promotor y Contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por la propiedad en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el Director de Ejecución de la Obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

El Director de Ejecución de la Obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución por unidad de obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el Contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al Director de Ejecución de la Obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el Contratista. A falta de aviso anticipado, cuya

existencia corresponde probar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones del Promotor sobre el particular.

#### **1.3.7.2. Relaciones valoradas y certificaciones**

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones y hormigones, que sean imputables al Contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el Promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

#### **1.3.7.3. Mejora de obras libremente ejecutadas**

Cuando el Contratista, incluso con la autorización del Director de Obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier

parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin solicitársela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### **1.3.7.4. Abono de trabajos presupuestados con partidaalzada**

El abono de los trabajos presupuestados en partidaalzada se efectuará previa justificación por parte del Contratista. Para ello, el Director de Obra indicará al Contratista, con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta.

#### **1.3.7.5. Abono de trabajos especiales no contratados**

Cuando fuese preciso efectuar cualquier tipo de trabajo de índole especial u ordinaria que, por no estar contratado, no sea de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por la Propiedad por separado y en las condiciones que se estipulen en el contrato de obra.

#### **1.3.7.6. Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía**

Efectuada la recepción provisional, y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo

con lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, sin estar sujetos a revisión de precios.

- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Promotor, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

### **1.3.8. Indemnizaciones Mutuas**

#### **1.3.8.1. Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras**

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### **1.3.8.2. Demora de los pagos por parte del Promotor**

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

### **1.3.9. Varios**

#### **1.3.9.1. Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra**

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista,

con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato de obra, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### **1.3.9.2. Unidades de obra defectuosas**

Las obras defectuosas no se valorarán.

#### **1.3.9.3. Seguro de las obras**

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

#### **1.3.9.4. Conservación de la obra**

El Contratista está obligado a conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

#### **1.3.9.5. Uso por el Contratista de edificio o bienes del Promotor**

No podrá el Contratista hacer uso de edificio o bienes del Promotor durante la ejecución de las obras sin el consentimiento del mismo.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como por resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que se estipule en el contrato de obra.

#### **1.3.9.6. Pago de arbitrios**

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se realizan, correrán a cargo del Contratista, siempre que en el contrato de obra no se estipule lo contrario.



### **1.3.10. Retenciones en concepto de garantía**

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien (5%) y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como PERIODO DE GARANTÍA, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

### **1.3.11. Plazos de ejecución: Planning de obra**

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning

de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

#### **1.3.12. Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista. En este acto se dará por terminada la obra y se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor. La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

#### **1.3.13. Liquidación final de la obra**

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

## **2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

### **2.1. Prescripciones sobre los materiales**

Para facilitar la labor a realizar, por parte del director de la ejecución de la obra, para el control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra de acuerdo con lo especificado en el "Real Decreto 314/2006. Código Técnico de la Edificación (CTE)", en el presente proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego. Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus cualidades, emitido por Organismos Técnicos reconocidos.

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá:

- El control de la documentación de los suministros.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad.
- El control mediante ensayos.

Por parte del constructor o contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del director de ejecución de la obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El contratista notificará al director de ejecución de la obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el director de ejecución de la obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el director de ejecución de la obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del contratista.

El hecho de que el contratista subcontrate cualquier partida de obra no le exime de su responsabilidad.

La simple inspección o examen por parte de los Técnicos no supone la recepción absoluta de los mismos, siendo los oportunos ensayos los que determinen su idoneidad, no extinguiéndose la responsabilidad contractual del contratista a estos efectos hasta la recepción definitiva de la obra.

#### **2.1.1. Garantías de calidad (Marcado CE)**

El término producto de construcción queda definido como cualquier producto fabricado para su incorporación, con carácter permanente, a las obras de edificación e ingeniería civil que tengan incidencia sobre los siguientes requisitos esenciales:

- Resistencia mecánica y estabilidad.

- Seguridad en caso de incendio.
- Higiene, salud y medio ambiente.
- Seguridad de utilización.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

El marcado CE de un producto de construcción indica:

- Que éste cumple con unas determinadas especificaciones técnicas relacionadas con los requisitos esenciales contenidos en las Normas Armonizadas (EN) y en las Guías DITE (Guías para el Documento de Idoneidad Técnica Europeo).
- Que se ha cumplido el sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones indicado en los mandatos relativos a las normas armonizadas y en las especificaciones técnicas armonizadas.

Siendo el fabricante el responsable de su fijación y la Administración competente en materia de industria la que vele por la correcta utilización del marcado CE.

Es obligación del director de la ejecución de la obra verificar si los productos que entran en la obra están afectados por el cumplimiento del sistema del marcado CE y, en caso de ser así, si se cumplen las condiciones establecidas en el "Real Decreto 1630/1992. Disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la Directiva 89/106/CEE".

El marcado CE se materializa mediante el símbolo "CE" acompañado de una información complementaria.

El fabricante debe cuidar de que el marcado CE figure, por orden de preferencia:

- En el producto propiamente dicho.

- En una etiqueta adherida al mismo.
- En su envase o embalaje.
- En la documentación comercial que le acompaña.

Las letras del símbolo CE deben tener una dimensión vertical no inferior a 5 mm.

Además del símbolo CE deben estar situadas en una de las cuatro posibles localizaciones una serie de inscripciones complementarias, cuyo contenido específico se determina en las normas armonizadas y Guías DITE para cada familia de productos, entre las que se incluyen:

- el número de identificación del organismo notificado (cuando proceda)
- el nombre comercial o la marca distintiva del fabricante
- la dirección del fabricante
- el nombre comercial o la marca distintiva de la fábrica
- las dos últimas cifras del año en el que se ha estampado el marcado en el producto
- el número del certificado CE de conformidad (cuando proceda)
- el número de la norma armonizada y en caso de verse afectada por varias los números de todas ellas
- la designación del producto, su uso previsto y su designación normalizada
- información adicional que permita identificar las características del producto atendiendo a sus especificaciones técnicas

Las inscripciones complementarias del marcado CE no tienen por qué tener un formato, tipo de letra, color o composición especial, debiendo cumplir únicamente las características reseñadas anteriormente para el símbolo.

Dentro de las características del producto podemos encontrar que alguna de ellas presente la mención "Prestación no determinada" (PND).

La opción PND es una clase que puede ser considerada si al menos un estado miembro no tiene requisitos legales para una determinada característica y el fabricante no desea facilitar el valor de esa característica.

## **2.1.2. Aceros para estructuras metálicas**

### **2.1.2.1. Condiciones de suministro**

Los aceros se deben transportar de una manera segura, de forma que no se produzcan deformaciones permanentes y los daños superficiales sean mínimos. Los componentes deben estar protegidos contra posibles daños en los puntos de eslingado (por donde se sujetan para izarlos).

Los componentes prefabricados que se almacenan antes del transporte o del montaje deben estar apilados por encima del terreno y sin contacto directo con éste. Debe evitarse cualquier acumulación de agua. Los componentes deben mantenerse limpios y colocados de forma que se eviten las deformaciones permanentes.

### **2.1.2.2. Recepción y control**

Documentación de los suministros:

- Para los productos planos:
  - Salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos planos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante.
  - Si en el pedido se solicita inspección y ensayo, se deberá indicar:
    - Tipo de inspección y ensayos (específicos o no específicos).
    - El tipo de documento de la inspección.

- Para los productos largos:
  - Salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos largos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante.
- Ensayos:
  - La comprobación de las propiedades o características exigibles a este material se realiza según la normativa vigente.

#### **2.1.2.3. Conservación, almacenamiento y manipulación**

Si los materiales han estado almacenados durante un largo periodo de tiempo, o de una manera tal que pudieran haber sufrido un deterioro importante, deberán ser comprobados antes de ser utilizados, para asegurarse de que siguen cumpliendo con la norma de producto correspondiente. Los productos de acero resistentes a la corrosión atmosférica pueden requerir un chorreo ligero antes de su empleo para proporcionarles una base uniforme para la exposición a la intemperie.

El material deberá almacenarse en condiciones que cumplan las instrucciones de su fabricante, cuando se disponga de éstas.

#### **2.1.2.4. Recomendaciones para su uso en obra**

El material no deberá emplearse si se ha superado la vida útil en almacén especificada por su fabricante.



## **2.2. Prescripciones en cuanto a la ejecución por unidad de obra**

Las prescripciones para la ejecución de cada una de las diferentes unidades de obra se organizan en los siguientes apartados:

- Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra

Se especifican, en caso de que existan, las posibles incompatibilidades, tanto físicas como químicas, entre los diversos componentes que componen la unidad de obra, o entre el soporte y los componentes.

- Características técnicas

Se describe la unidad de obra, detallando de manera pormenorizada los elementos que la componen, con la nomenclatura específica correcta de cada uno de ellos, de acuerdo a los criterios que marca la propia normativa.

- Normativa de aplicación

Se especifican las normas que afectan a la realización de la unidad de obra.

- Criterio de medición en proyecto

Indica cómo se ha medido la unidad de obra en la fase de redacción del proyecto, medición que luego será comprobada en obra.

- Condiciones previas que han de cumplirse antes de la ejecución de las unidades de obra

Antes de iniciarse los trabajos de ejecución de cada una de las unidades de obra, el Director de la Ejecución de la Obra habrá recepcionado los materiales y los certificados acreditativos exigibles, en base a lo establecido en la documentación pertinente por el técnico redactor del proyecto. Será preceptiva la aceptación previa por parte del Director de la Ejecución de la Obra de todos los materiales que constituyen la unidad de obra.

Así mismo, se realizarán una serie de comprobaciones previas sobre las condiciones del soporte, las condiciones ambientales del entorno, y la cualificación de la mano de obra, en su caso.

- Del soporte

Se establecen una serie de requisitos previos sobre el estado de las unidades de obra realizadas previamente, que pueden servir de soporte a la nueva unidad de obra.

- Ambientales

En determinadas condiciones climáticas (viento, lluvia, humedad, etc.) no podrán iniciarse los trabajos de ejecución de la unidad de obra, deberán interrumpirse o será necesario adoptar una serie de medidas protectoras.

- Del contratista

En algunos casos, será necesaria la presentación al Director de la Ejecución de la Obra de una serie de documentos por parte del Contratista, que acrediten su cualificación, o la de la empresa por él subcontratada, para realizar cierto tipo de trabajos. Por ejemplo, la puesta en obra de sistemas constructivos en posesión de un Documento de Idoneidad Técnica (DIT), deberán ser realizados por la propia empresa propietaria del DIT, o por empresas especializadas y cualificadas, reconocidas por ésta y bajo su control técnico.

- Proceso de ejecución

En este apartado se desarrolla el proceso de ejecución de cada unidad de obra, asegurando en cada momento las condiciones que permitan conseguir el nivel de calidad previsto para cada elemento constructivo en particular.

- Fases de ejecución

Se enumeran, por orden de ejecución, las fases de las que consta el proceso de ejecución de la unidad de obra.

- Condiciones de terminación

En algunas unidades de obra se hace referencia a las condiciones en las que debe finalizarse una determinada unidad de obra, para que no interfiera negativamente en el proceso de ejecución del resto de unidades.

Una vez terminados los trabajos correspondientes a la ejecución de cada unidad de obra, el Contratista retirará los medios auxiliares y procederá a la limpieza del elemento realizado y de las zonas de trabajo, recogiendo los restos de materiales y demás residuos originados por las operaciones realizadas para ejecutar la unidad de obra, siendo todos ellos clasificados, cargados y transportados a centro de reciclaje, vertedero específico o centro de acogida o transferencia.

- Pruebas de servicio

En aquellas unidades de obra que sea necesario, se indican las pruebas de servicio a realizar por el propio Contratista o empresa instaladora, cuyo coste se encuentra incluido en el propio precio de la unidad de obra. Aquellas otras pruebas de servicio o ensayos que no están incluidos en el precio de la unidad de obra, y que es obligatoria su

realización por medio de laboratorios acreditados se encuentran detalladas y presupuestadas, en el correspondiente capítulo X de Control de Calidad y Ensayos, del Presupuesto de Ejecución Material (PEM).

Por ejemplo, esto es lo que ocurre en la unidad de obra ADP010, donde se indica que no está incluido en el precio de la unidad de obra el coste del ensayo de densidad y humedad "in situ".

- Conservación y mantenimiento

En algunas unidades de obra se establecen las condiciones en que deben protegerse para la correcta conservación y mantenimiento en obra, hasta su recepción final.

- Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Indica cómo se comprobarán en obra las mediciones de Proyecto, una vez superados todos los controles de calidad y obtenida la aceptación final por parte del Director de Ejecución de la Obra.

La medición del número de unidades de obra que ha de abonarse se realizará, en su caso, de acuerdo con las normas que establece este capítulo, tendrá lugar en presencia y con intervención del Contratista, entendiéndose que éste renuncia a tal derecho si, avisado oportunamente, no compareciere a tiempo. En tal caso, será válido el resultado que el Director de Ejecución de la Obra consigne.

Todas las unidades de obra se abonarán a los precios establecidos en el Presupuesto.

Dichos precios se abonarán por las unidades terminadas y ejecutadas con arreglo al presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares y Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra.

Estas unidades comprenden el suministro, cánones, transporte, manipulación y empleo de los materiales, maquinaria, medios auxiliares, mano de obra necesaria para su ejecución y costes indirectos derivados de estos conceptos, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para la ejecución de la obra, tales como indemnizaciones por daños a terceros u ocupaciones temporales y costos de obtención de los permisos necesarios, así como de las operaciones necesarias para la reposición de servidumbres y servicios públicos o privados afectados tanto por el proceso de ejecución de las obras como por las instalaciones auxiliares. Igualmente, aquellos conceptos que se especifican en la definición de cada unidad de obra, las operaciones descritas en el proceso de ejecución, los ensayos y pruebas de servicio y puesta en funcionamiento, inspecciones, permisos, boletines, licencias, tasas o similares.

No será de abono al Contratista mayor volumen de cualquier tipo de obra que el definido en los planos o en las modificaciones autorizadas por la Dirección Facultativa. Tampoco le será abonado, en su caso, el coste de la restitución de la obra a sus dimensiones correctas, ni la obra que hubiese tenido que realizar por orden de la Dirección Facultativa para subsanar cualquier defecto de ejecución.

- Terminología aplicada en el criterio de medición

A continuación, se detalla el significado de algunos de los términos utilizados en los diferentes capítulos de obra.

- Estructuras metálicas

Peso nominal medido. Serán los kg que resulten de aplicar a los elementos estructurales metálicos los pesos nominales que, según dimensiones y tipo de acero, figuren en tablas.

Algunos aspectos del presupuesto no se han incluido ya que se han encontrado en otros lugares, y no en Cype.

### **2.2.1. Acondicionamiento del terreno**

**Unidad de obra ADL005:** Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.

- Características técnicas

Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión.

- Normativas de aplicación

Ejecución: NTE-ADE. Acondicionamiento del terreno. Desmontes: Explanaciones.

- Criterio de medición en proyecto

Superficie medida en proyección horizontal, según documentación gráfica de Proyecto.

- Condiciones previas que han de cumplirse antes de la ejecución de las unidades de Obra
- Del soporte

Inspección ocular del terreno.

Se comprobará la posible existencia de servidumbres, elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar.

- Del contratista

Si existieran instalaciones en servicio que pudieran verse afectadas por los trabajos a realizar, solicitará de las correspondientes compañías suministradoras su situación y, en su caso, la solución a adoptar, así como las distancias de seguridad a tendidos aéreos de conducción de energía eléctrica.

- Proceso de ejecución
  - Fases de ejecución

Replanteo en el terreno. Remoción mecánica de los materiales de desbroce. Retirada y disposición mecánica de los materiales objeto de desbroce. Carga a camión.

- Condiciones de terminación

La superficie del terreno quedará limpia y en condiciones adecuadas para poder realizar el replanteo definitivo de la obra.

- Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Se medirá, en proyección horizontal, la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, sin incluir los incrementos por excesos de excavación no autorizados.

- Criterio de valoración económica

El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.

### 2.2.2. Control de calidad y ensayos

**Unidad de obra XMS020:** Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ultrasonidos.

- Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra

El ensayo mediante partículas magnéticas se realizará únicamente en materiales ferromagnéticos.

- Características técnicas

Ensayo no destructivo a realizar por laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una unión soldada en estructura metálica, mediante partículas magnéticas para la determinación de las imperfecciones superficiales de la unión, según UNE-EN ISO 17638, líquidos penetrantes para la determinación de las imperfecciones superficiales de la unión, según UNE-EN ISO 3452-1, ultrasonidos para la determinación de los defectos internos de la unión, según UNE-EN 1714. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.

- Criterio de medición en proyecto

Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.

- Fases de ejecución

Desplazamiento a obra. Realización del ensayo. Redacción de informe del resultado del ensayo realizado.

- Criterio de medición en obra y condiciones de abono



Se medirá el número de ensayos realizados por laboratorio acreditado según especificaciones de Proyecto.

## **2.3. Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado**

### **2.3.1. Estructuras**

Una vez finalizada la ejecución de cada fase de la estructura, al entrar en carga se comprobará visualmente su eficaz comportamiento, verificando que no se producen deformaciones no previstas en el proyecto ni aparecen grietas en los elementos estructurales.

En caso contrario y cuando se aprecie algún problema, se deben realizar pruebas de carga, cuyo coste será a cargo de la empresa constructora, para evaluar la seguridad de la estructura, en su totalidad o de una parte de ella. Estas pruebas de carga se realizarán de acuerdo con un Plan de Ensayos que evalúe la viabilidad de las pruebas, por una organización con experiencia en este tipo de trabajos, dirigida por un técnico competente.

## **2.4. Prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición**

El correspondiente Estudio de Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición, contendrá las siguientes prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de la obra:

El depósito temporal de los escombros se realizará en contenedores metálicos con la ubicación y condiciones establecidas en las ordenanzas municipales, o bien en sacos industriales con un volumen inferior a un metro cúbico, quedando debidamente señalizados y segregados del resto de residuos.

Aquellos residuos valorizables, como maderas, plásticos, chatarra, etc., se depositarán en contenedores debidamente señalizados y segregados del resto de residuos, con el fin de facilitar su gestión.

Los contenedores deberán estar pintados con colores vivos, que sean visibles durante la noche, y deben contar con una banda de material reflectante de, al menos, 15 centímetros a lo largo de todo su perímetro, figurando de forma clara y legible la siguiente información:

- Razón social.
- Código de Identificación Fiscal (C.I.F.).
- Número de teléfono del titular del contenedor/envase.
- Número de inscripción en el Registro de Transportistas de Residuos del titular del contenedor.

Dicha información deberá quedar también reflejada a través de adhesivos o placas, en los envases industriales u otros elementos de contención.

El responsable de la obra a la que presta servicio el contenedor adoptará las medidas pertinentes para evitar que se depositen residuos ajenos a la misma. Los contenedores permanecerán cerrados o cubiertos fuera del horario de trabajo, con el fin de evitar el depósito de restos ajenos a la obra y el derramamiento de los residuos.

En el equipo de obra se deberán establecer los medios humanos, técnicos y procedimientos de separación que se dedicarán a cada tipo de RCD.

Se deberán cumplir las prescripciones establecidas en las ordenanzas municipales, los requisitos y condiciones de la licencia de obra, especialmente si obligan a la separación en origen de determinadas materias objeto de reciclaje o deposición, debiendo el constructor o el jefe de obra realizar una evaluación económica de las condiciones en las que es viable esta operación, considerando las posibilidades reales de llevarla a cabo, es decir, que la obra o construcción lo permita y que se disponga de plantas de reciclaje o gestores adecuados.

El constructor deberá efectuar un estricto control documental, de modo que los transportistas y gestores de RCD presenten los vales de cada retirada y entrega en destino final. En el caso de que los residuos se reutilicen en otras obras o proyectos de restauración, se deberá aportar evidencia documental del destino final.

Los restos derivados del lavado de las canaletas de las cubas de suministro de hormigón prefabricado serán considerados como residuos y gestionados como le corresponde (LER 17 01 01).

Se evitará la contaminación mediante productos tóxicos o peligrosos de los materiales plásticos, restos de madera, acopios o contenedores de escombros, con el fin de proceder a su adecuada segregación.

Las tierras superficiales que puedan destinarse a jardinería o a la recuperación de suelos degradados, serán cuidadosamente retiradas y almacenadas durante el menor tiempo posible, dispuestas en caballones de altura no superior a 2 metros, evitando la humedad excesiva, su manipulación y su contaminación.



# **DOCUMENTO IV:**

# **MEDICIONES Y**

# **PRESUPUESTO**





# ÍNDICE DE MEDICIONES Y

## PRESUPUESTO

1. ACONDICIONAMIENTO DEL TERREO .....	255
2. CIMENTACIONES.....	256
3. MATERIAL DEL TANQUE .....	259
4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS .....	265
5. ALQUILER DE EQUIPOS.....	266
6. MANO DE OBRA.....	267
7. RESUMEN DEL PRESUPUESTO .....	269



## 1. ACONDICIONAMIENTO DEL TERREO

Código	Descripción	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Precio unidad	Importe (€)
1.1	<b>Limpieza del terreno:</b> Desbroce y limpieza del terreno, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios para retirar de las zonas previstas para la edificación o urbanización: pequeñas plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basuras o cualquier otro material existente, hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.			
	Tamaño de la parcela: 6m x 6m	36,00	1	36,00

<b>Importe total</b>	36,00 €
----------------------	---------

## 2. CIMENTACIONES

Código	Descripción	Cantidad (m³)	Precio unidad	Importe (€)
2.1	<b>Excavación para cimentaciones:</b> Excavación de zanjas para cimentaciones hasta una profundidad de 2 m, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.			
	Huecos para 8 zapatas de 1m x 1m x 0,4m	3,2	23,33	74,66

Código	Descripción	Cantidad (m³)	Precio unidad	Importe (€)
2.2	<b>Hormigón de limpieza:</b> Hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, para formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, en el fondo de la excavación previamente realizada. Capa de 0,1 metros.			
	Hormigón en 8 capas de 1m x 1m x 0,1m	0,8	75,86	60,69

Código	Descripción	Cantidad (m³)	Precio unidad	Importe (€)
2.3	<b>Hormigón en masa para zapata:</b> Hormigón HM-20/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión, para formación de zapata.			
	Hormigón en 8 capas de 1m x 1m x 0,3m para formar zapatas	2,4	88,87	213,29

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
2.4	<b>Varillas para armado de cimentaciones:</b> Varilla anclaje HAS-U 8.8 M30 y longitud de 380mm. Para uso con anclajes de inyección y anclajes químicos de acero al carbono galvanizado. Protección frente a corrosión.			
	8 varillas para las 8 zapatas	8	22,78	182,24

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
2.5	<b>Arandelas para armado cimentaciones:</b> Arandela plana de acero inoxidable M30 A4 DIN125			
	8 arandelas para las 8 zapatas	8	1,17	9,36

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
2.6	<b>Tuercas para armado cimentaciones:</b> Tuerca hexagonal DIN 934 M30 de acero inoxidable con clase de resistencia 8, acabado cincado.			
	8 tuercas para las 8 zapatas	8	2,36	18,88

Nota: La clase de resistencia de una tuerca debe ser igual o superior a la resistencia del tornillo. Por ejemplo, un tornillo con clase de resistencia 8.8 debe ir con una

tuerca con clase de resistencia 8 o superior. Es este caso, las varillas son de 8.8 y las tuercas de 8.

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
2.7	<b>Taco químico:</b> Mopure Epoxy puro sin Estireno. Homologado para todo tipo de hormigón fisurado y no fisurado y todas las aplicaciones en hormigón. Varillas M10 o M30. Carga máxima recomendada para M30 de 13640 kg. Bote de 600 ml.			
	Cantidad de producto: cada varilla se introduce 150mm en agujeros de 30mm, por tanto, esto es un volumen de $\pi \times 15^2 \times 150 (\text{m}^3) \times 10^{-6} = 0,106$ litros x 8 taladros = 0,848 litros	2	58,34	116,68

<b>Importe total</b>	675,80 €
----------------------	----------

### 3. MATERIAL DEL TANQUE

En este apartado, se tienen en cuenta todo el material necesario para conformar el tanque según el Plano 2: “Tanque de almacenamiento” del documento Planos. Por ello se va a referenciar a los distintos elementos que aparecen en la lista de componentes de este plano. Dado que este plano del tanque está dividido en 4, la referencia al componente se hace poniendo un primer número que indica la marca y un segundo número que indica el plano. Por ejemplo: 24P2, indica el elemento de la marca 24 del Plano 2.

Código	Descripción	Cantidad (m <sup>2</sup> )	Precio unidad	Importe (€)
3.1	<b>Chapa:</b> El precio de la chapa incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según espesor de la chapa.			
	Chapa de 6 mm de espesor de SA-516 Gr70: 1P1, 2P1, 3P1, 12P1, 18P1, 11P2, 17P2, 21P2, 30P3, 49P3. Incluye la virola.	108,90	130,00	14157,00
	Chapa de 8 mm de espesor de SA-516 Gr70: 4P1, 3P2, 25P2. Incluye el techo.	26,58	196,00	5209,68
	Chapa de 10 mm de espesor de SA-516 Gr70: 5P1, 9P1, 11P1, 13P1, 12P2, 15P2, 22P2, 36P3, 45P3, 52P4, 53P4, 54P4, 55P4, 56P4, 57P4, 58P4, 59P4, 60P4, 61P4. Incluye el suelo.	21,23	287,00	6093,01

Código	Descripción	Cantidad (m²)	Precio unidad	Importe (€)
	Chapa de 12 mm de espesor de SA-516 Gr70: 8P1, 16P1, 40P3	0,34	407,00	138,38
	Chapa de 15 mm de espesor de SA-516 Gr70: 14P1, 15P1, 38P3, 46P3, 47P3	0,38	537,00	204,06
	Chapa de 17 mm de espesor de SA-516 Gr70: 31P3, 32P3	1,79	670,00	1199,30
	Chapa de 20 mm de espesor de SA-516 Gr70: 10P1	0,15	793,00	118,95
	Chapa de 25 mm de espesor de SA-516 Gr70: 7P1	0,07	920,00	64,40
	Chapa de 6 mm de espesor de S275 JR: 6P1	1,90	153,00	290,70
			<b>Importe</b>	<b>27475,48€</b>

Las áreas de chapa necesarias están incrementadas un 10% para así tener en cuenta el material que no se podrá aprovechar tras los cortes que se le realizan a la chapa para conseguir cada elemento.



Código	Descripción	Cantidad (m)	Precio unidad	Importe (€)
3.2	<b>Tubos:</b> El precio de los tubos incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según diámetro del tubo.			
	Tubo de Ø1" (1 pulgada) SCH80 de SA-106 GRB: 51P3	0,26	1,45	0,38
	Tubo de Ø2" SCH80 de SA-106 GRB: 2P2, 7P2, 8P2	1,65	3,02	4,98
	Tubo de Ø2,5" SCH80 de SA-106 GRB: 44P3	0,17	4,26	0,73
	Tubo de Ø3" SCH80 de SA-106 GRB: 10P2, 14P2, 20P2, 28P2	1,12	4,64	5,20
	Tubo de Ø4" SCH80 de SA-106 GRB: 18P2, 24P2	0,65	6,75	4,39
	Tubo de Ø8" SCH80 de SA-106 GRB: 17P1, 29P3	0,63	16,07	10,12
			<b>Importe</b>	25,80€

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
3.3	<b>Codos:</b> El precio de los codos incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según diámetro del codo.			
	Codo de Ø3" SCH80 de SA-234 WPB: 13P2	1	3,80	3,80
	Codo de Ø4" SCH80 de SA-234 WPB: 16P2, 23P2	3	6,20	18,60
			<b>Importe</b>	22,40€

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
3.4	<b>Bridas:</b> El precio de las bridas incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según diámetro de la brida.			
	Brida de Ø1" de SA-105: 50P3	1	0,90	0,90
	Brida de Ø2" de SA-105: 1P2, 4P2	7	1,90	13,30
	Brida de Ø3" de SA-105: 9P2	3	2,30	6,90
	Brida de Ø4" de SA-105: 19P2	1	4,10	4,10
	Brida de Ø8" de SA-105: 48P3	1	9,20	9,20
			<b>Importe</b>	34,30€

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
3.5	<b>Juntas:</b> El precio de las juntas incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según diámetro de la junta.			
	Junta Garlock 3700 de Ø2": 6P2	2	2,10	4,20
	Junta Garlock 3700 de Ø984 – Ø900: 34P3	1	35,30	35,30
			<b>Importe</b>	39,50€

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
3.6	<b>Pernos:</b> El precio de los pernos incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes. Precio según diámetro y longitud del perno.			
	Perno de Ø5/8" y 80 mm de longitud de SA-193 B7: 5P2	8	0,95	7,60
	Perno de Ø1" y 100 mm de longitud de SA-193 B7: 33P3	44	2,10	92,40
	Perno M20 y 110 mm de longitud de SA-193 B7: 41P3	1	2,25	2,25
			<b>Importe</b>	102,25€

Código	Descripción	Cantidad (uds)	Precio unidad	Importe (€)
3.7	<b>Otros:</b> El precio de estos otros elementos incluye su suministro en embalaje para protección frente a golpes.			
	Cáncamo M20: 39P3	1	13,00	13,00
	Soporte de pescante de Ø2" SCH80: 35P3	1	10,00	10,00
	Percha redonda Ø15mm: 37P3	2	3,40	6,80
			<b>Importe</b>	29,80€

<b>Importe total</b>	27729,53 €
----------------------	------------

#### 4. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Código	Descripción	Cantidad (ensayos)	Precio unidad	Importe (€)
4.1	<b>Ensayo de partículas magnéticas para soldaduras:</b> Ensayo no destructivo a realizar por laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una unión soldada en estructura metálica, mediante partículas magnéticas para la determinación de las imperfecciones superficiales de la unión, según UNE-EN ISO 17638. Incluido desplazamiento a obra e informe de resultados.			
	67 soldaduras + 10 soldaduras que ponderan como 3 ensayos (unión techo-virola, 2 en virola 1, 2 en virola 2 y 2 en virola 3, unión virola 1-virola 2, unión virola 2-virola 3 y unión virola-suelo).	97	36,11	3502,67

<b>Importe total</b>	3502,67 €
----------------------	-----------

## 5. ALQUILER DE EQUIPOS

Código	Descripción	Cantidad (horas)	Precio unidad	Importe (€)
5.1	<b>Alquiler de grúa:</b> Alquiler de grúa RT 35-1. Grúa para terrenos difíciles, terrenos no pavimentados, con altura libre sobre el suelo. 35 toneladas de capacidad máxima de levantamiento con una pluma de sincronización mecánica de 30,1 metros de longitud máxima. Alquiler por horas.			
	El tiempo del izado vertical del tanque, el giro hasta posición horizontal y colocación encima de las cunas se estima de 1 hora.	1	1000,00	1000,00

Código	Descripción	Cantidad (días)	Precio unidad	Importe (€)
5.2	<b>Alquiler de torre de trabajo móvil para soldar:</b> Alquiler, durante 10 días naturales, de torre de trabajo móvil, con plataforma de trabajo de 3x1 m <sup>2</sup> , situada a una altura de 3 m, formada por estructura tubular de acero galvanizado en caliente de 48,3 mm y 3,2 mm de espesor, preparada para soportar una carga de 2,0 kN/m <sup>2</sup> uniformemente distribuida sobre la plataforma y una carga puntual de 1,5 kN, clase 3 según UNE-EN 1004.			
	10 días para la soldadura de los tramos de virola y la unión del techo con la virola.	10	5,94	59,40

<b>Importe total</b>	1059,40 €
----------------------	-----------

## 6. MANO DE OBRA

Código	Descripción	Cantidad (horas)	Precio unidad	Importe (€)
6.1	<b>Soldadura GMAW (MAG):</b> Soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible. (GMAW). Se emplea como gas protector un gas activo (MAG), concretamente el CO <sub>2</sub> . Incluye tanto soldadura como reparación en caso de que los ensayos muestren defectos de soldadura tales como poros o fisuras en los cordones de soldadura.			
	Estimación empresa de 1000 horas	1000	16,00	16000,00

Código	Descripción	Cantidad (horas)	Precio unidad	Importe (€)
6.2	<b>Corte de chapas y taladrado:</b> Corte de la chapa para obtener los tramos requeridos tanto de virola como el resto de los elementos que componen el tanque. Y taladrado de los agujeros en las distintas chapas para los pernos.			
	Estimación empresa de 350 horas	350	14,00	4900,00

Código	Descripción	Cantidad (horas)	Precio unidad	Importe (€)
6.3	<b>Curvado de chapas:</b> Curvado de las chapas que conforman la virola, de la chapa del techo y de la chapa de todos los escudos de tubos, orejeta, trunios de izado y demás componentes, que van unidos a la virola del tanque.			
	Estimación empresa de 150 horas	150	15,00	2250,00

<b>Importe total</b>	23150,00 €
----------------------	------------



## 7. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Capítulo	Importe
7. Acondicionamiento del terreno	36,00 €
8. Cimentaciones	675,80 €
9. Material del tanque	27729,53 €
10. Ensayos no destructivos	3502,67 €
11. Alquiler de equipos	1059,40 €
12. Mano de obra	23150,00 €
Presupuesto de Ejecución de Material (PEM)	56153,40 €
Gastos Generales (15%)	8423,01 €
Beneficio Industrial (6%)	3369,20 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	67945,61 €
Honorarios (7%)	4756,19 €
Suma	72701,80 €
IVA (21%)	15267,38 €
Presupuesto Total	87969,18 €

**El presupuesto total asciende a la cantidad de OCHENTA Y SIETE MIL NOVECIENTOS SESENTA Y NUEVE EUROS CON DIECIOCHO CÉNTIMOS.**

**87969,18 €**

# **DOCUMENTO V:**

# **PLANOS**



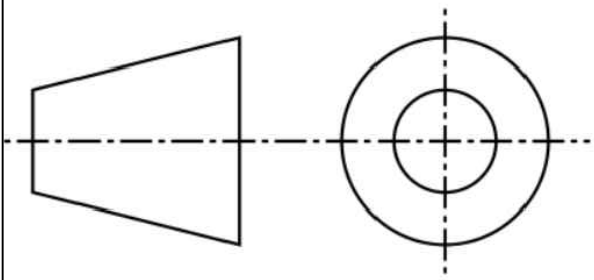

# ÍNDICE DE LOS PLANOS

1. PLANO DE SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO.....	275
2. PLANO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	276

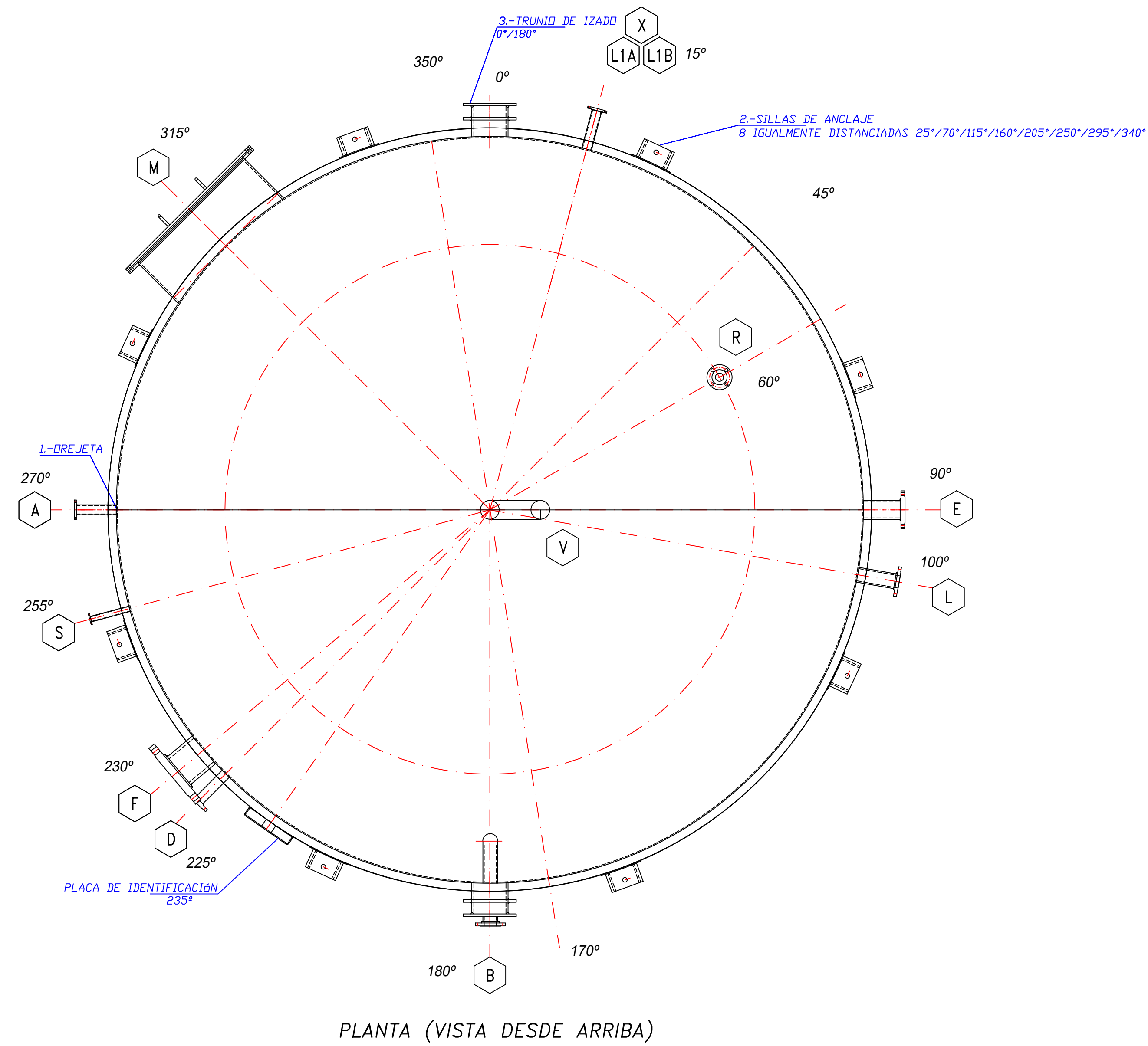
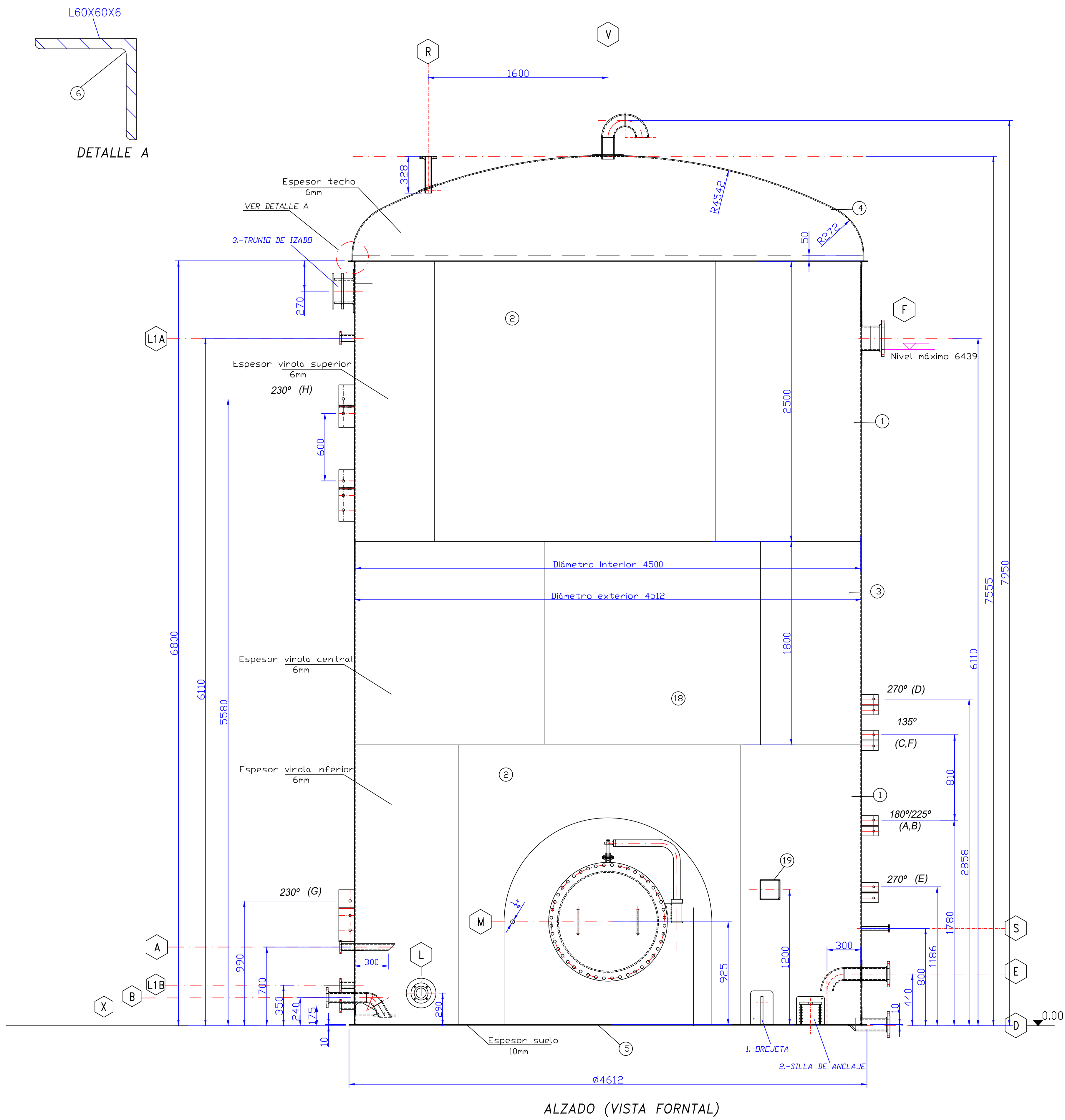




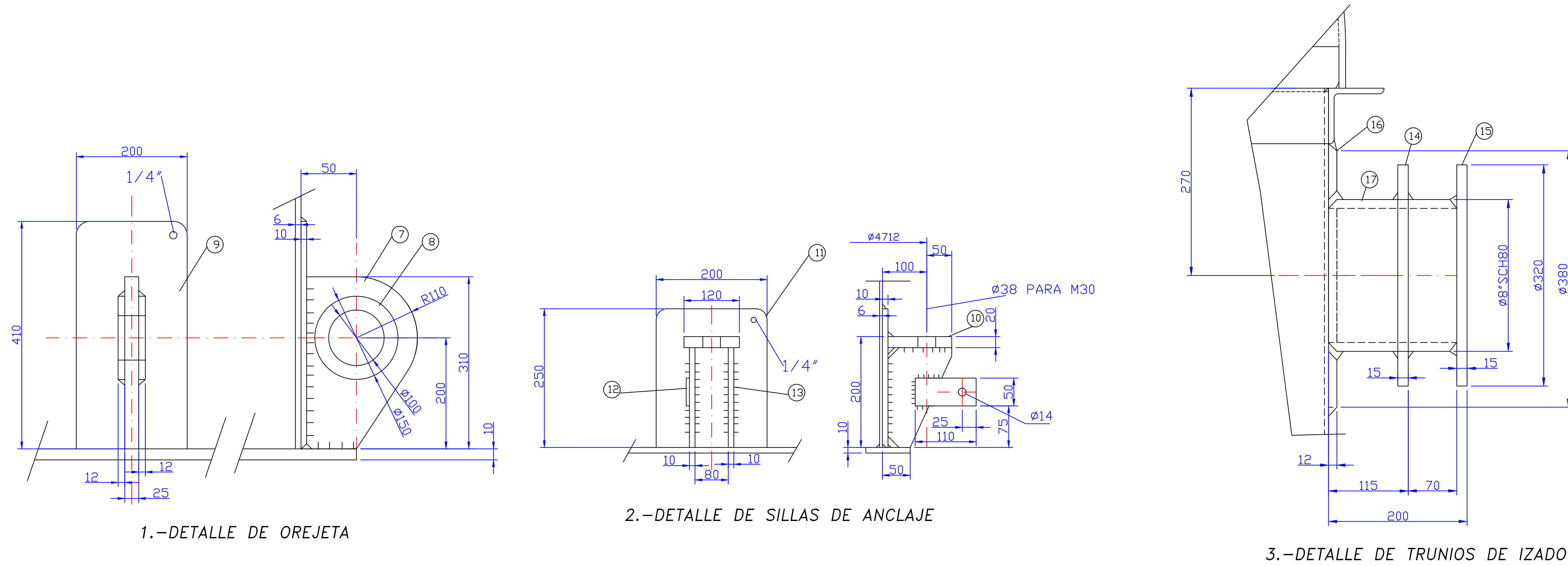


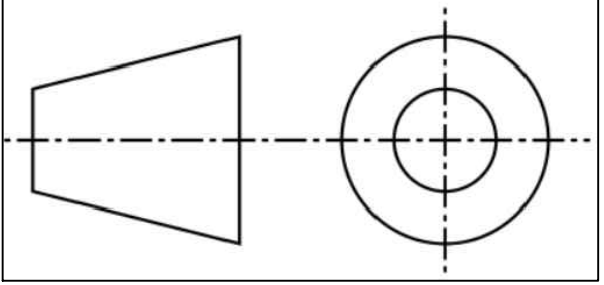

Autor: Aarón Juan Martínez		Unidad dimensional: sin unidades	
Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales		Escala: sin escala	
Proyecto: Diseño y cálculo estructural de tanque para industria petroquímica y de cunas para su transporte		Método de representación: 	
	Título del plano:  Situación y emplazamiento	Número de plano: 1	Hoja del plano: 1/1
		Idioma: es	Fecha: 07/09/2020



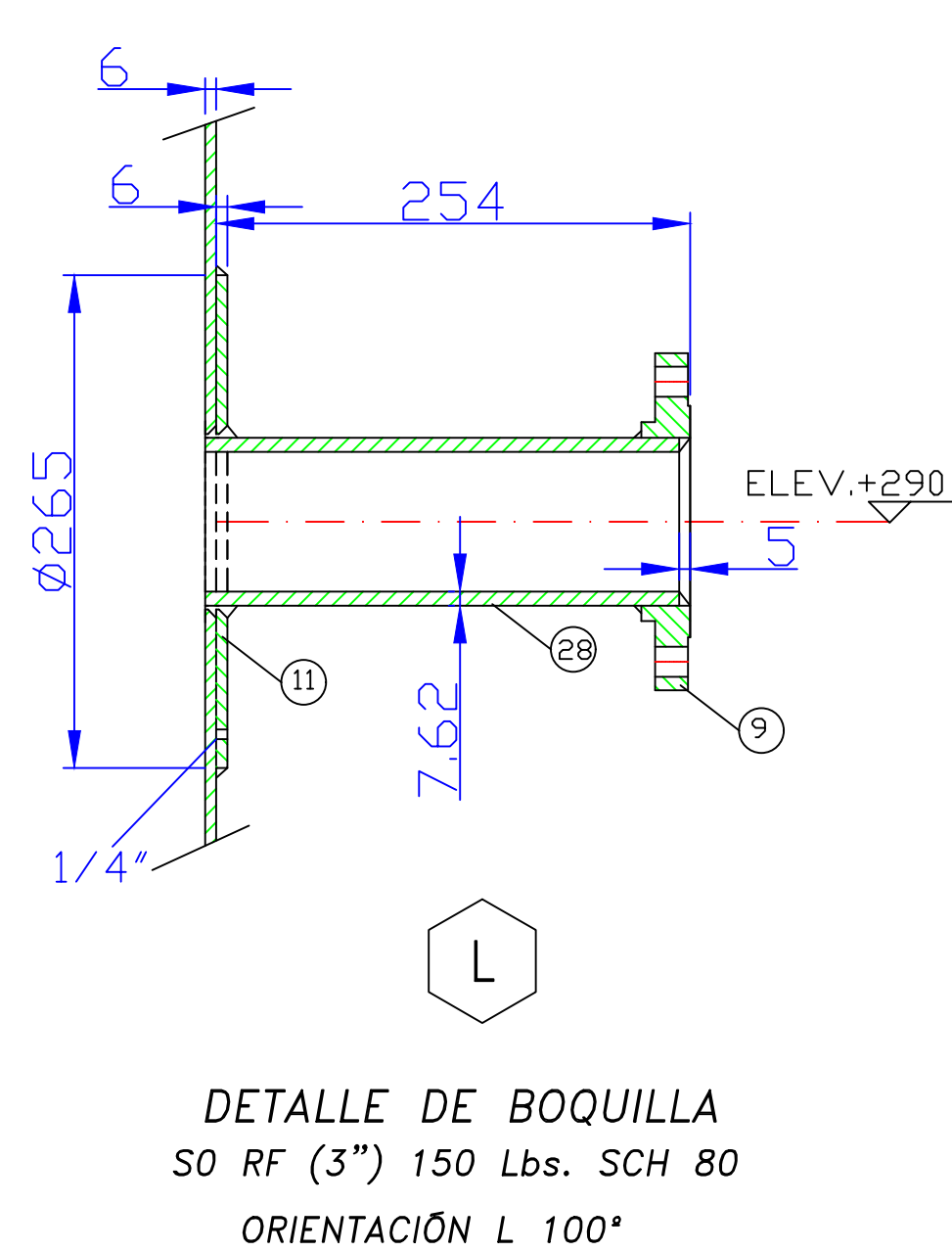
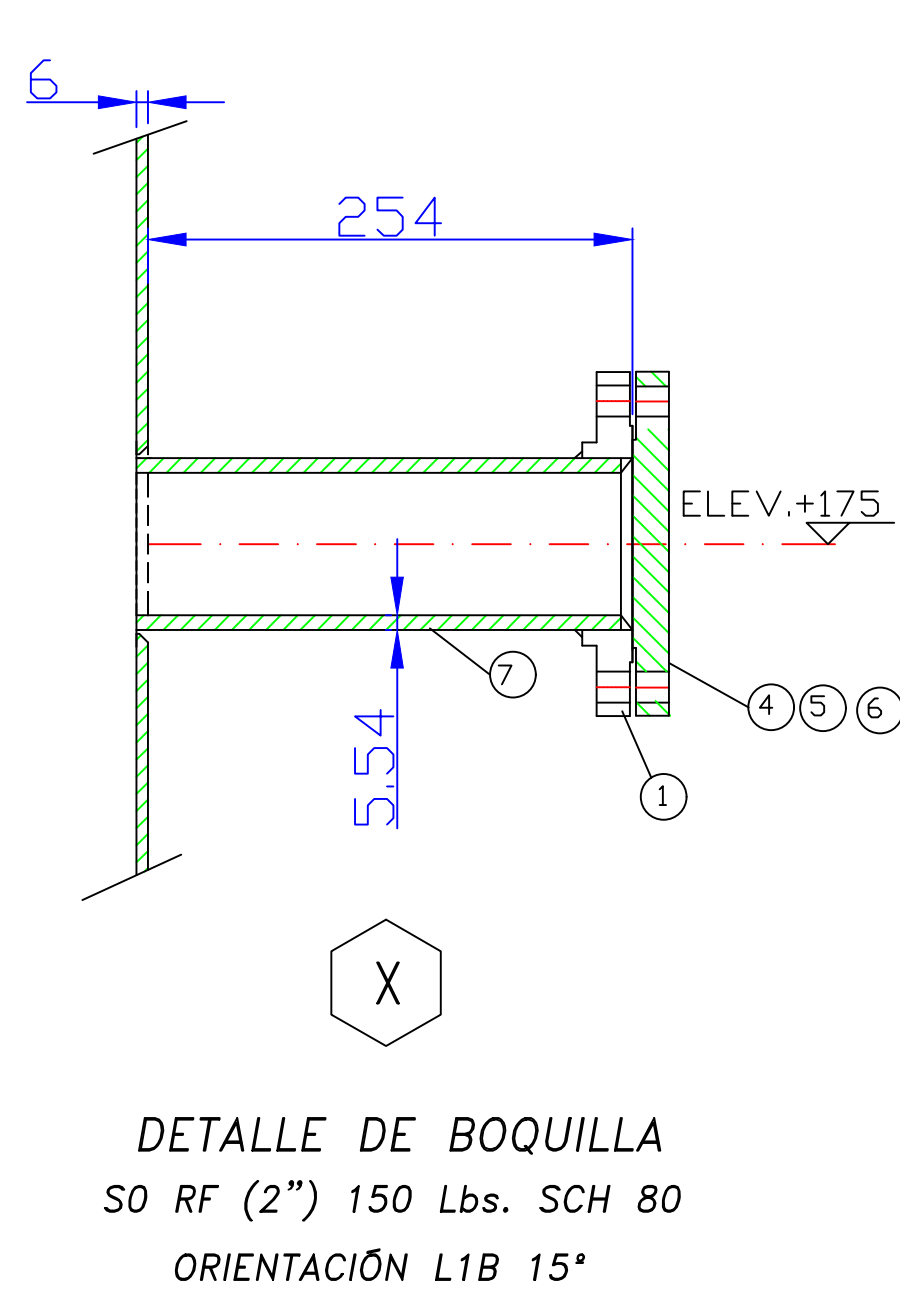
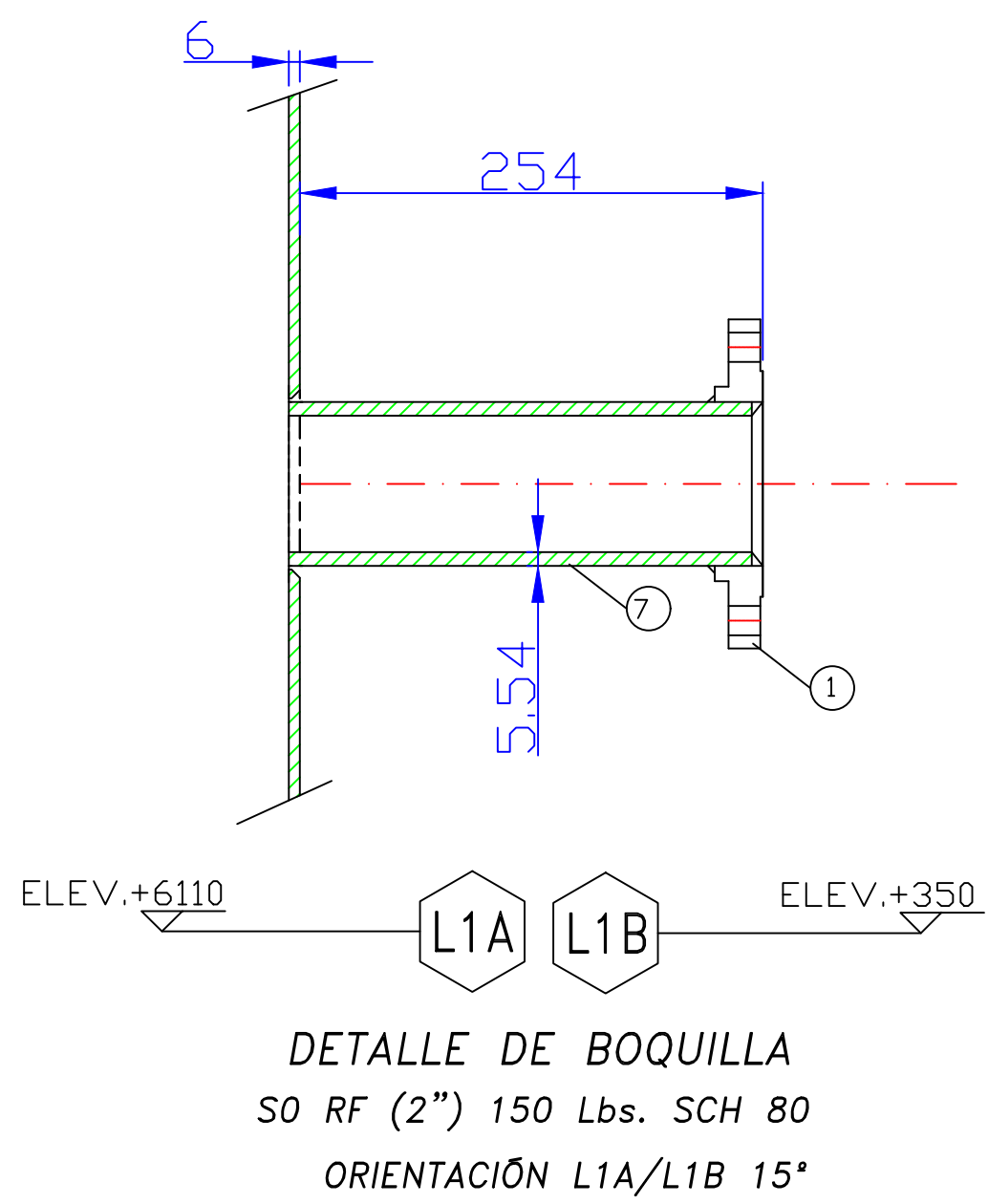
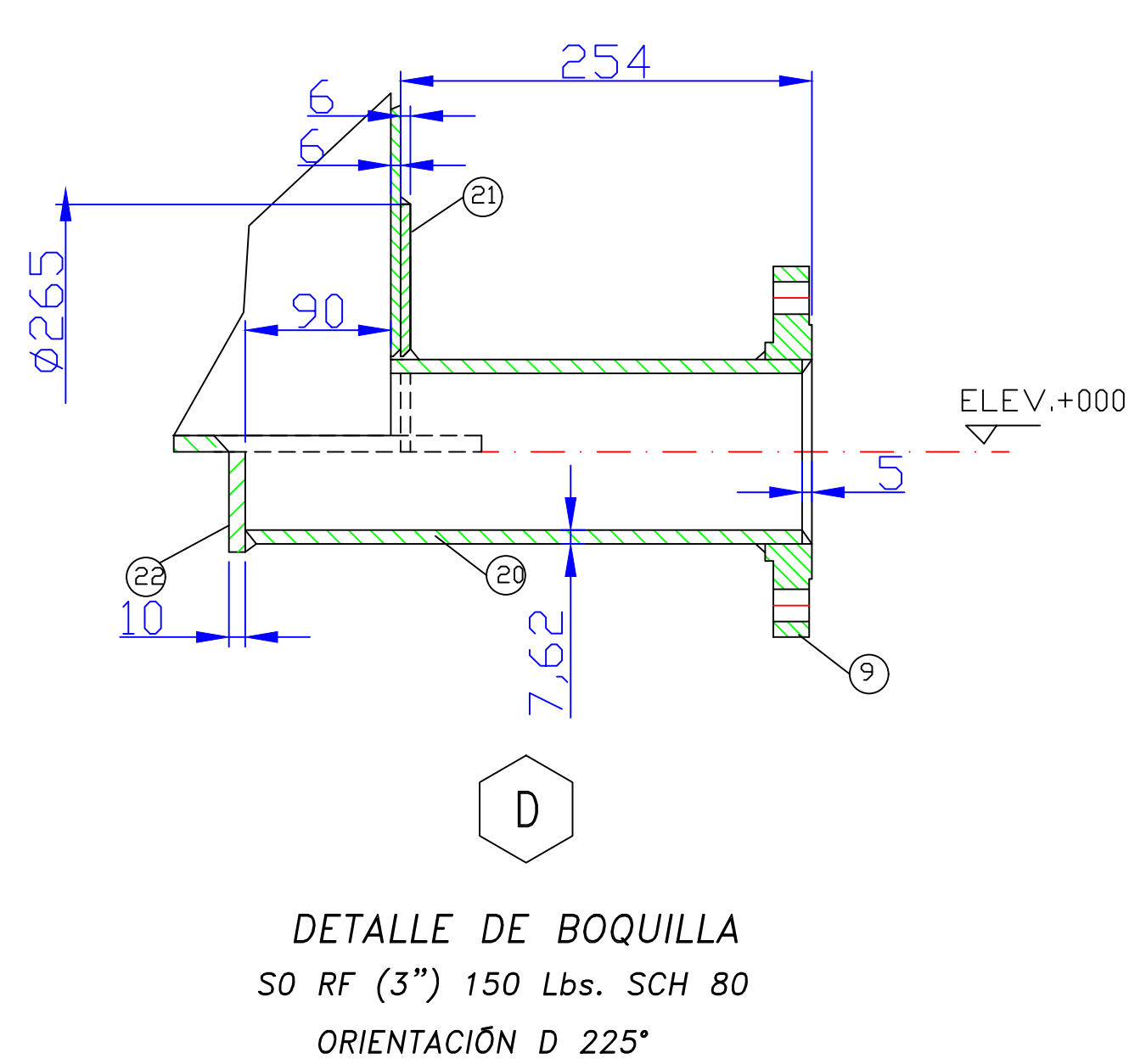
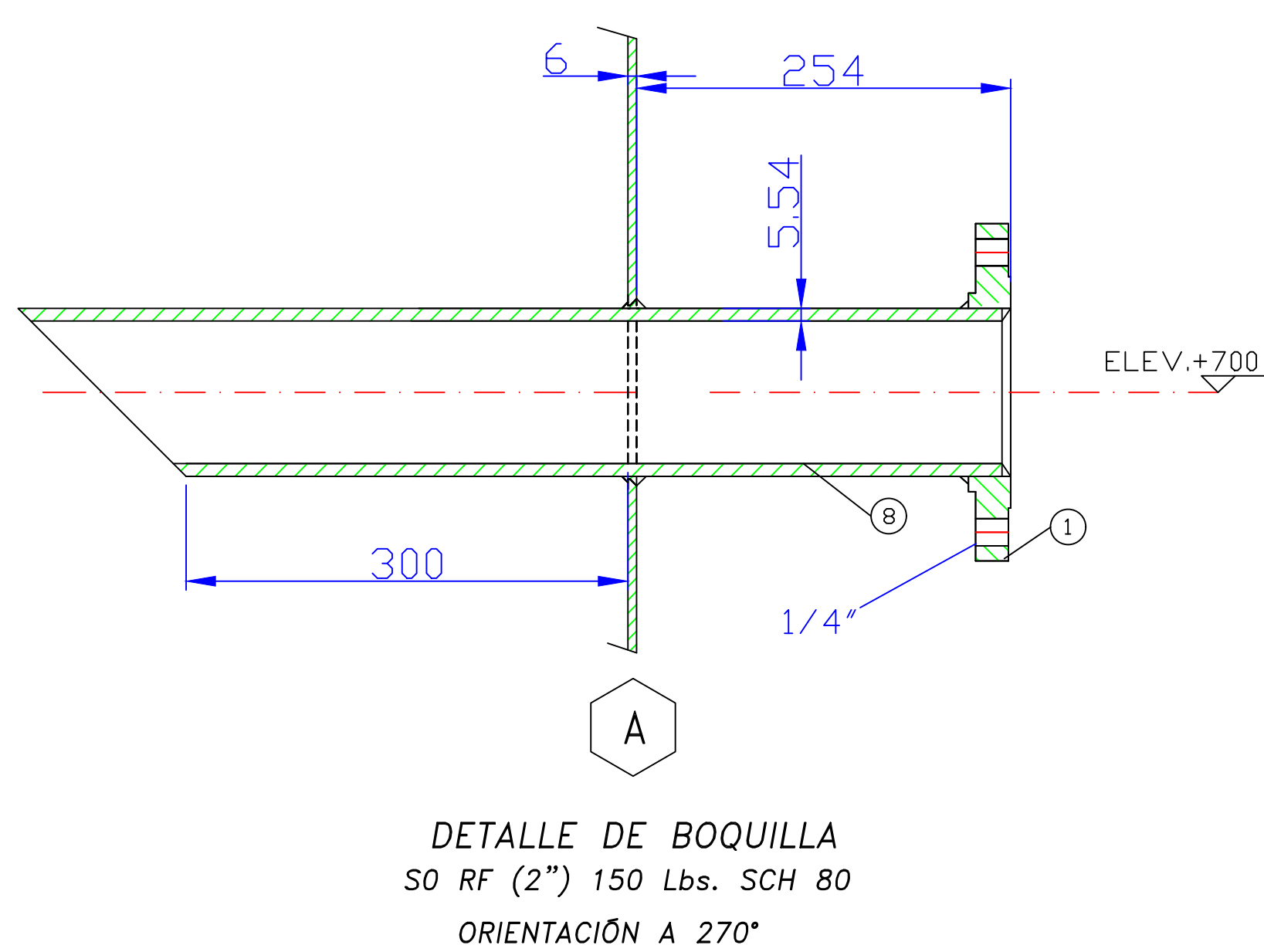
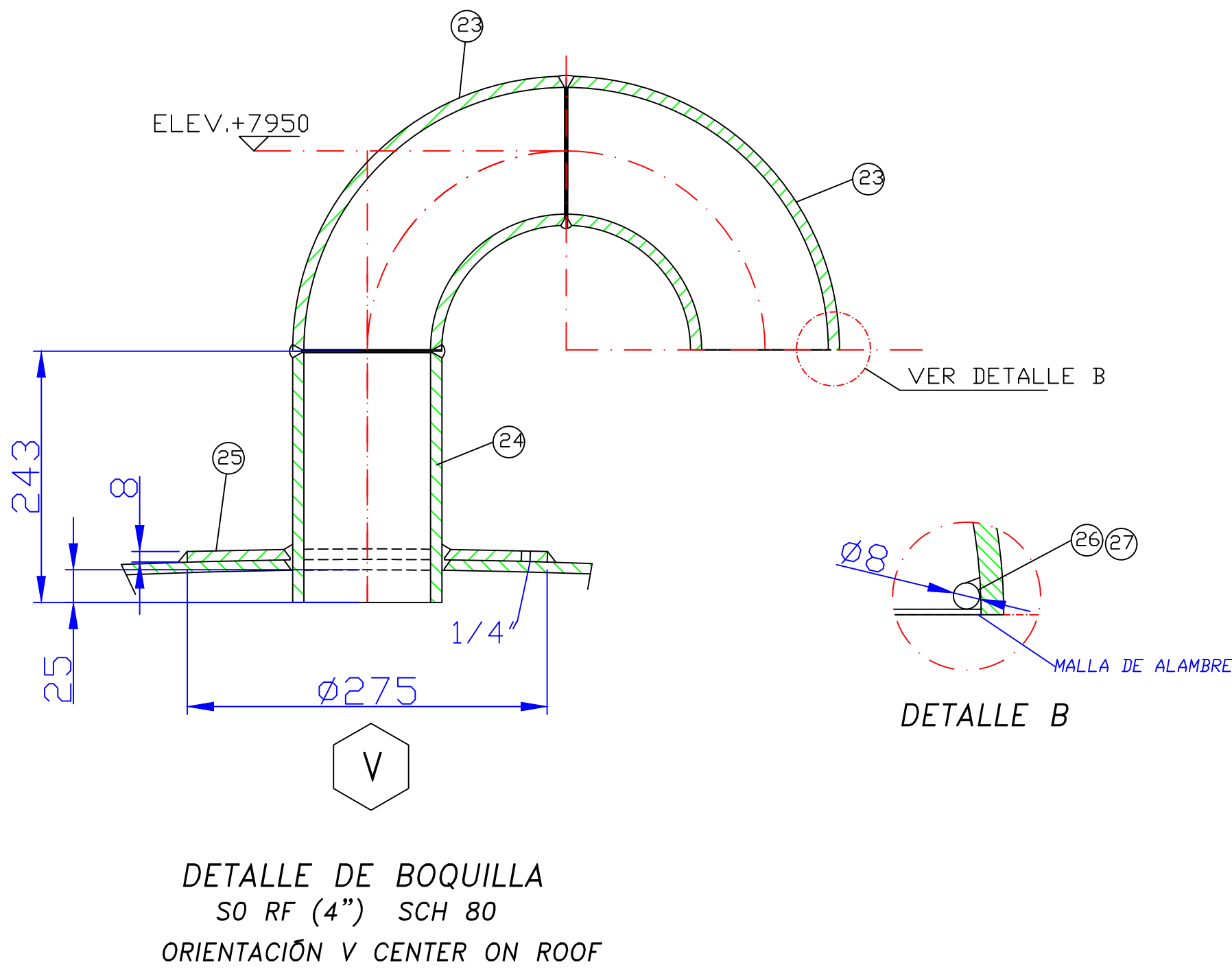
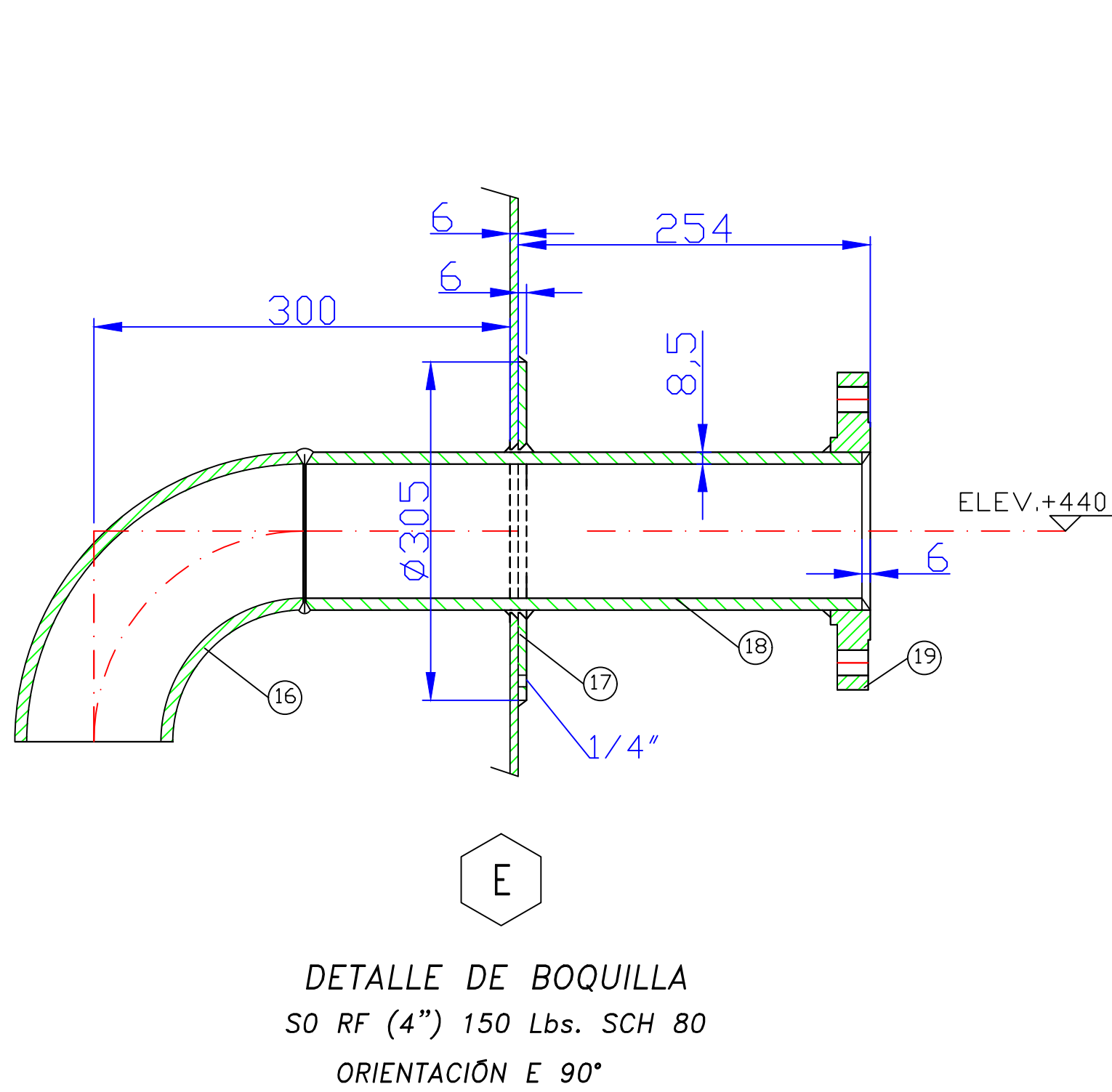
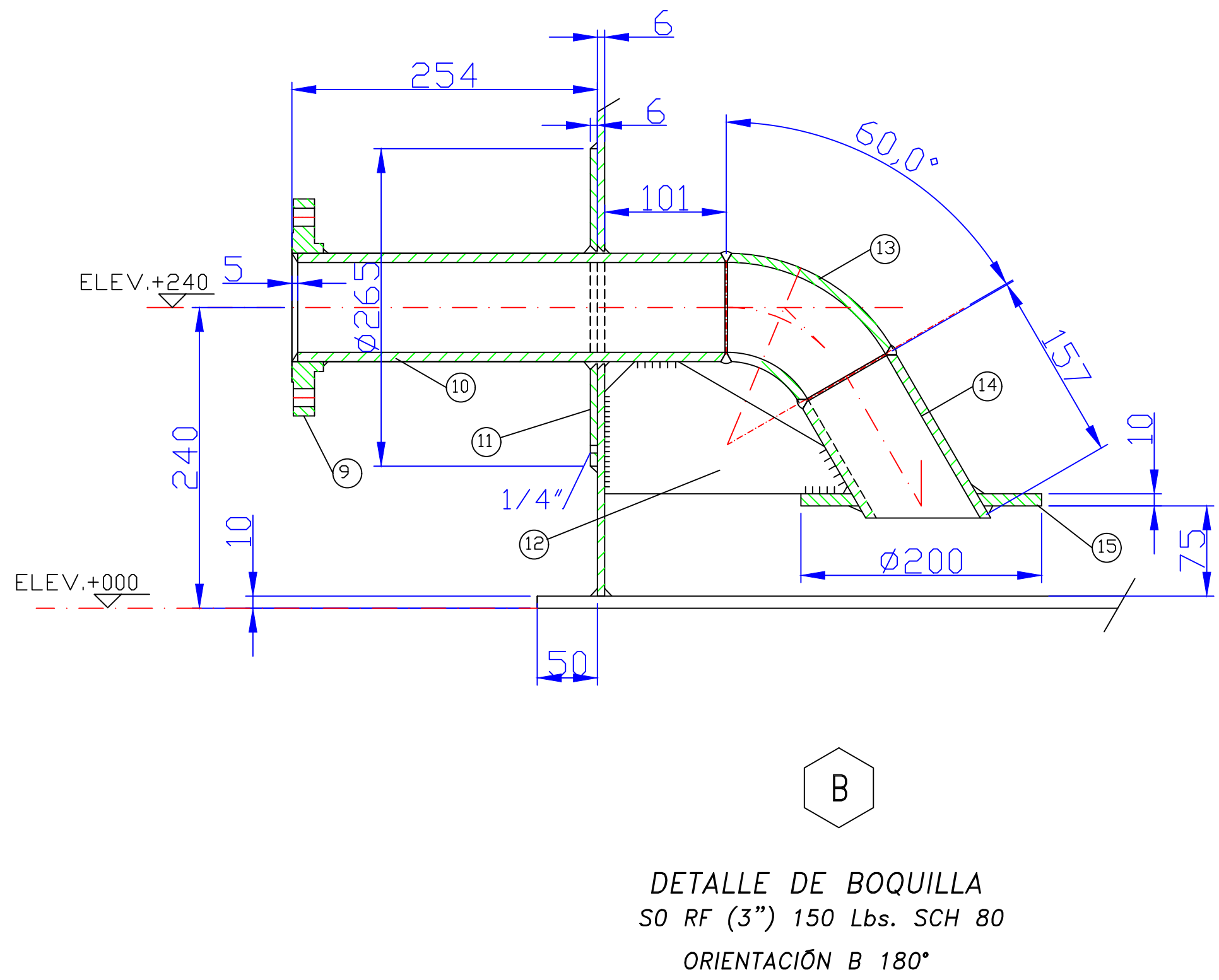
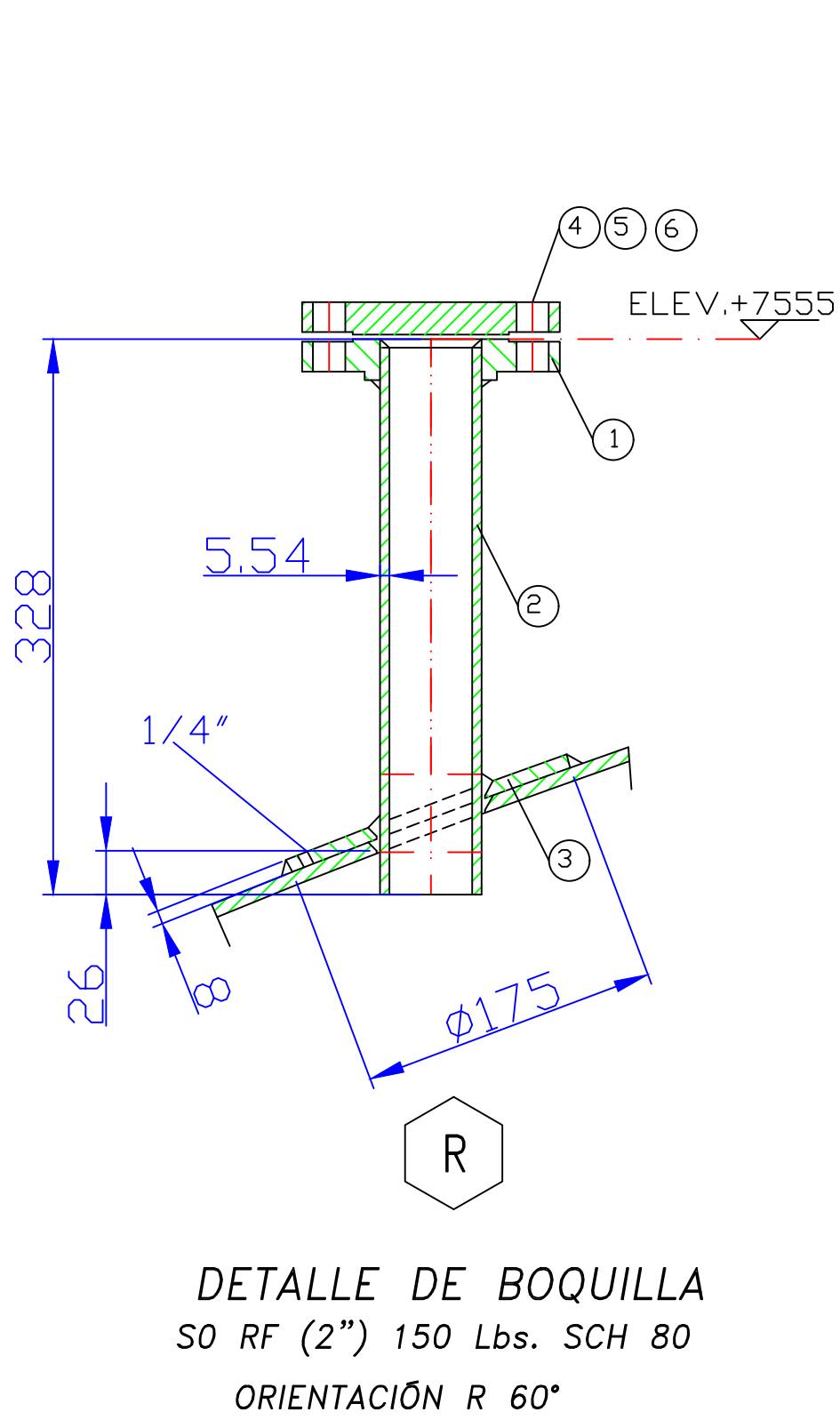


MARCA	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	VIROLA 12000X2500X6	SA-516 Gr70	2
2	VIROLA 2156X2500X6	SA-516 Gr70	2
3	VIROLA 12000X1800X6	SA-516 Gr70	1
4	TECHO BÓVEDA 8mm ØINT.4542	SA-516 Gr70	1
5	SUELO/PLACA INFERIOR Ø4612X10	SA-516 Gr70	1
6	ANGULAR DE CORONACIÓN L60X60X6 L=14363	S275JR	1
7	PLATO DE LA OREJETA 310X200X25	SA-516 Gr70	1
8	PLATO REDONDO Ø150XØ100X12	SA-516 Gr70	2
9	PLACA DE REFUERZO 410X200X10	SA-516 Gr70	1
10	PLACA DE ANCLAJE SUPERIOR 140X120X20	SA-516 Gr70	8
11	PLACA DE REFUERZO 200X250X10	SA-516 Gr70	8
12	PLATO DE CONEXIÓN A TIERRA 110X50X6	SA-516 Gr70	8
13	PLACA DE REFUERZO 180X140X10	SA-516 Gr70	16
14	ANILLO DE TRUNDO DE IZADO Ø221XØ320 ESP.15mm	SA-516 Gr70	2
15	DISCO DE CUBIERTA DEL TRUNDO DE IZADO Ø320 ESP.15mm	SA-516 Gr70	2
16	PLACA DE REFUERZO Ø380X12	SA-516 Gr70	2
17	TUBO DE TRUNDO DE IZADO Ø8" SCH80 L=186	SA-516 Gr70	2
18	VIROLA 2156X1800X6	SA-516 Gr70	1
19	SOPORTE DE PLACA DE IDENTIFICACIÓN	SA-516 Gr70	1



Autor: Aarón Juan Martínez		Unidad dimensional: mm	
Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales		Escala: sin escala	
Proyecto: Diseño y cálculo estructural de tanque para industria petroquímica y de cunas para su transporte		Método de representación: 	
	Título del plano:  Tanque de almacenamiento	Número de plano: 2	Hoja del plano: 1/4
		Idioma: es	Fecha: 07/09/2020





MARCA	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
1	BRIDA SLIP DN Ø2'	SA-105	5
2	TUBO Ø2' SCH80 L=324	SA-106 GrB	1
3	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 58mm ESPESOR 8mm	SA-516 Gr70	1
4	BRIDA CIEGA Ø2'	SA-105	2
5	PERNOS 5/8"x80	SA-193 B7	8
6	JUNTA GARLOCK 3700 Ø2'	—	2
7	TUBO Ø2' SCH80 L=255	SA-106 GrB	3
8	TUBO Ø2' SCH80 L=555	SA-106 GrB	1
9	BRIDA SLIP DN Ø3'	SA-105	3
10	TUBO Ø3' SCH80 L=355	SA-106 GrB	1
11	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 89mm ESPESOR 6mm	SA-516 Gr70	2
12	PLACA DE REFUERZO ESPESOR 10mm	SA-516 Gr70	1
13	CODO 60º Ø3' SCH80	SA-234 WPB	1
14	TUBO Ø3' SCH80 L=157	SA-106 GrB	1
15	ANILLO Ø200 Ø92 ESPESOR 10mm	SA-516 Gr70	1
16	CODO 45º Ø4' SCH80	SA-234 WPB	1
17	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 95mm ESPESOR 6mm	SA-516 Gr70	1
18	TUBO Ø4' SCH80 L=405	SA-106 GrB	1
19	BRIDA SLIP DN Ø4'	SA-105	1
20	TUBO Ø3' SCH80 L=345	SA-106 GrB	1
21	1/2 PLACA DE REFUERZO ANCHURA 89mm ESPESOR 6mm	SA-516 Gr70	1
22	PLACA DE CUBIERTA ESPESOR 10mm	SA-516 Gr70	1
23	CODO 90º Ø4' SCH80	SA-234 WPB	2
24	TUBO Ø4' SCH80 L=244mm	SA-106 GrB	1
25	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 81mm ESPESOR 8mm	SA-516 Gr70	1
26	AGUJERO Ø8	SS304	1
27	MALLA DE ALAMBRE DE VENTILACION	SS304	1
28	TUBO Ø3' SCH80 L=255	SA-106 GrB	1

Autor: Aarón Juan Martínez

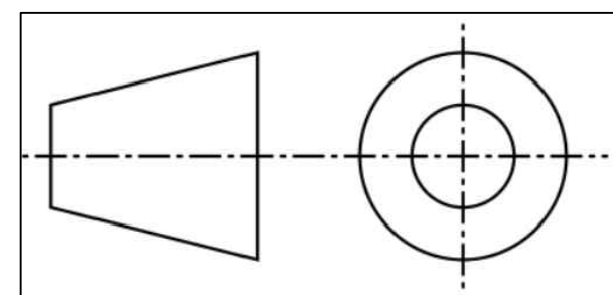
Unidad dimensional: mm

Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales

Escala: sin escala

Proyecto: Diseño y cálculo estructural de tanque para industria petroquímica y de cunas para su transporte

Método de representación:



Título del plano:

Tanque de almacenamiento

Número de plano:

2

Hoja del plano:

2/4

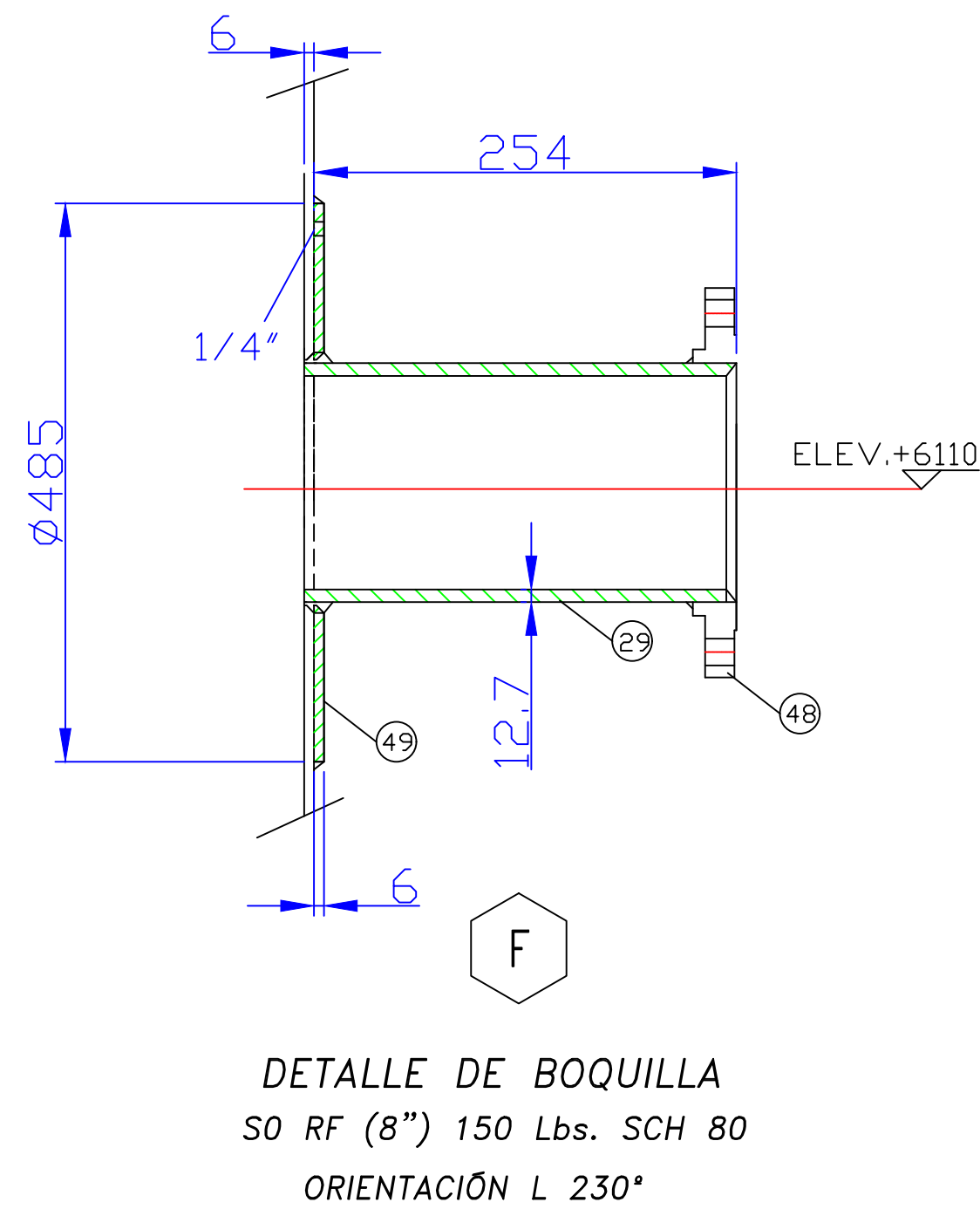
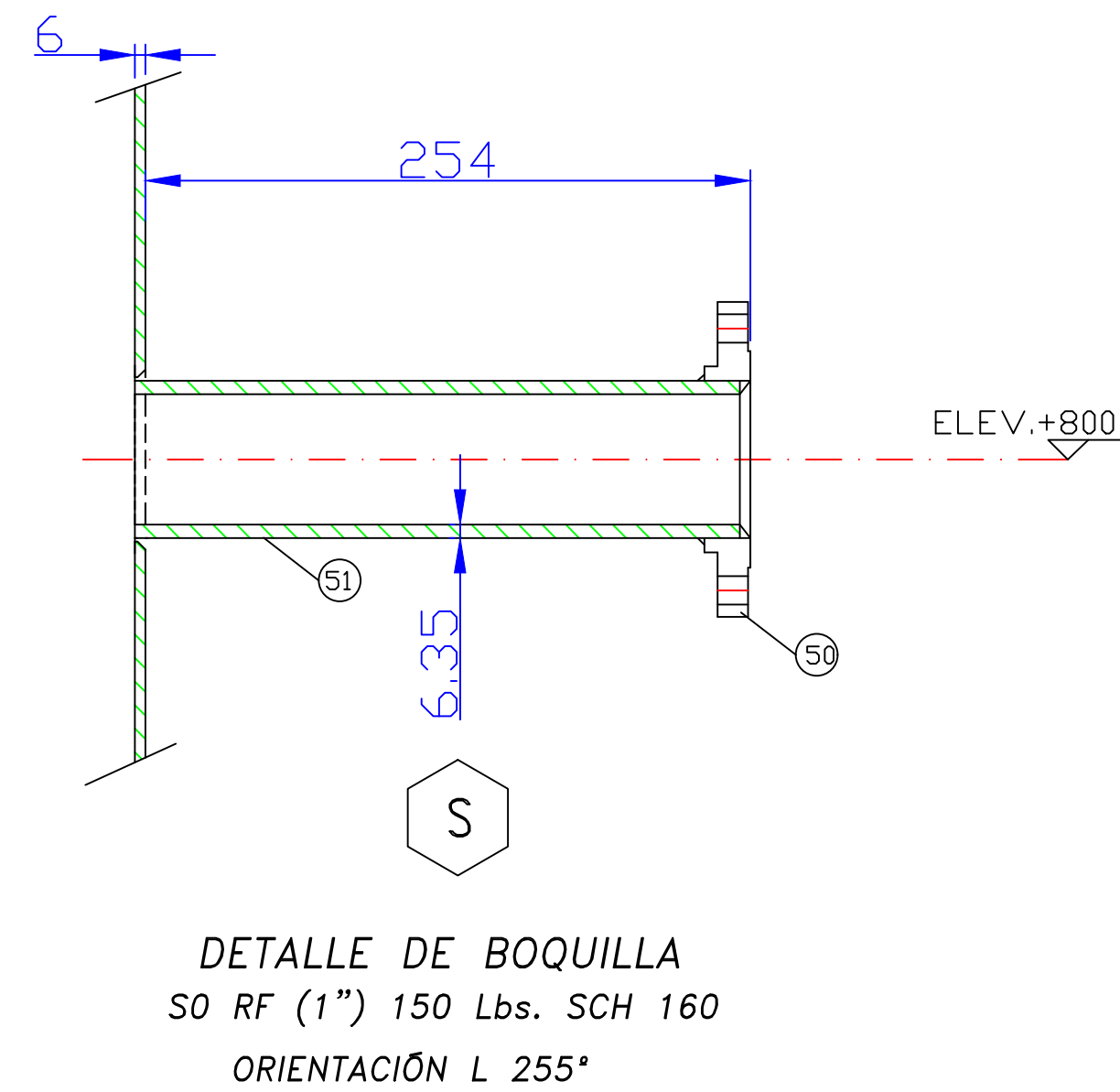
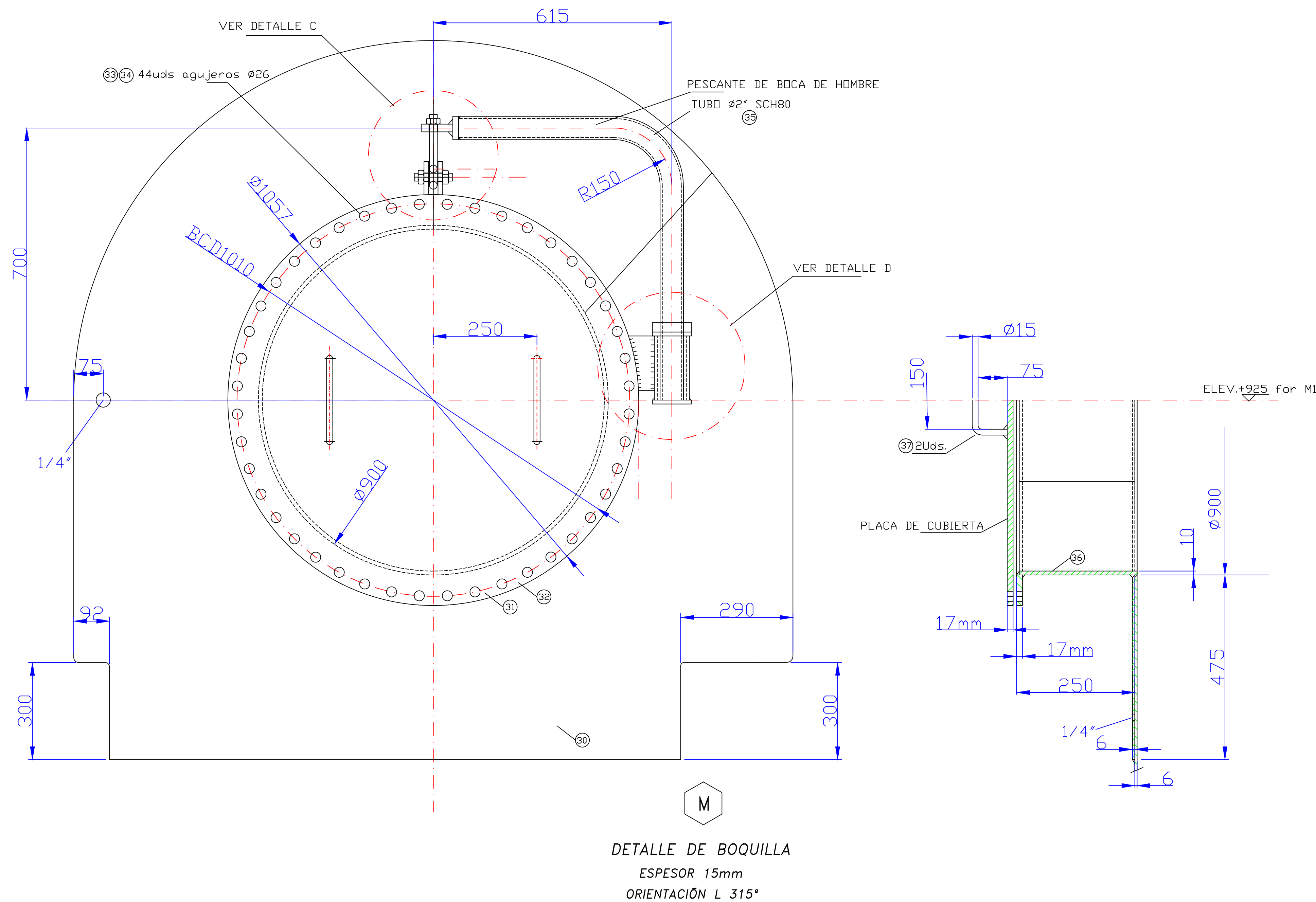
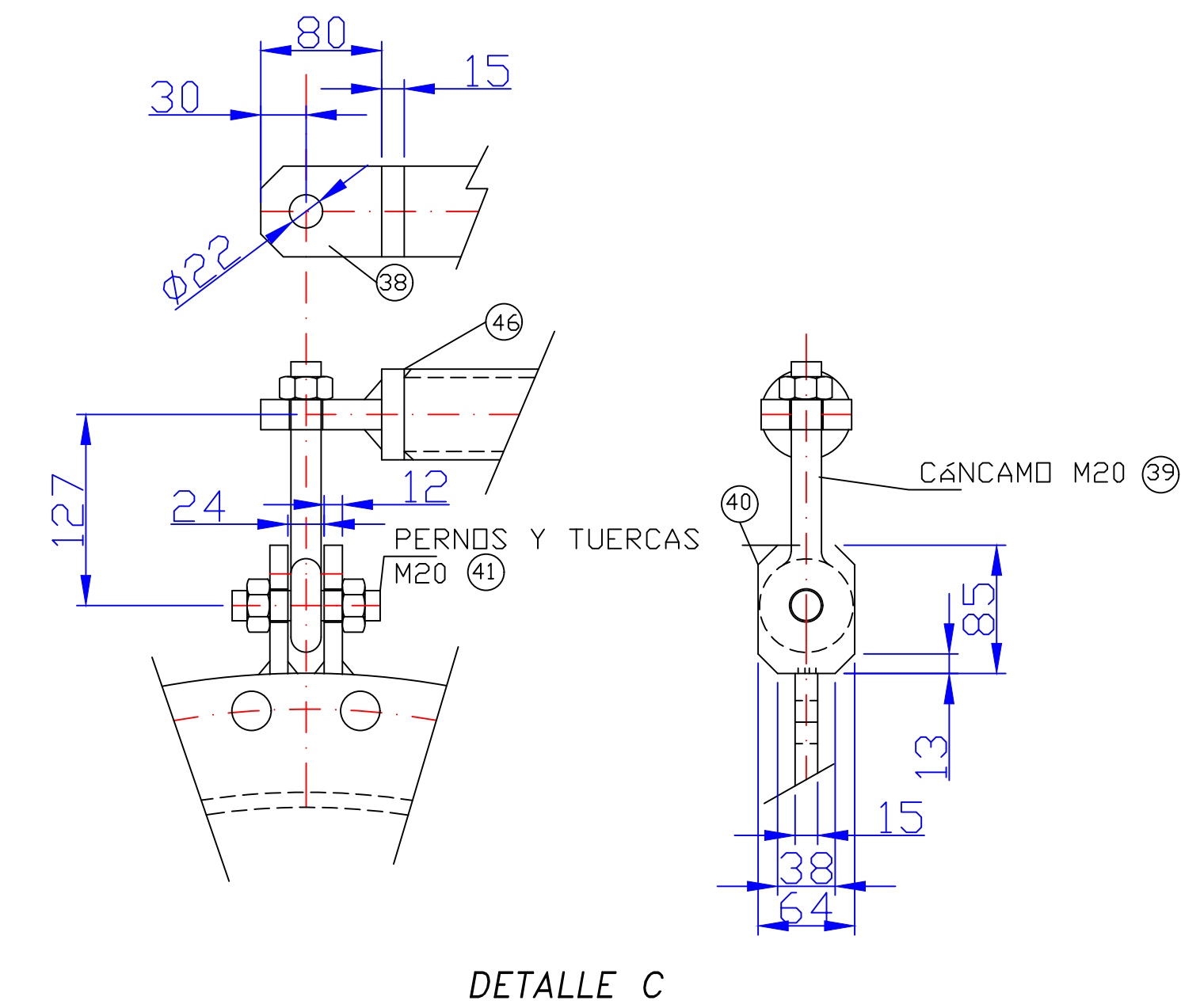
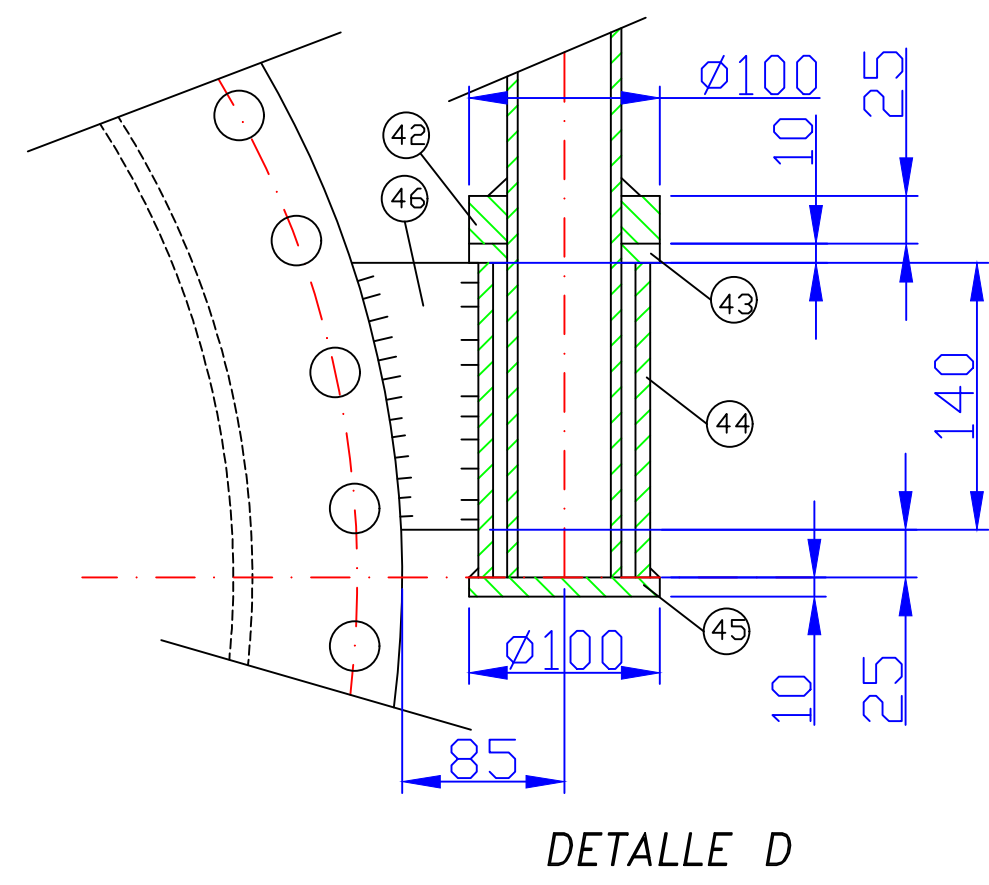
Idioma:

es

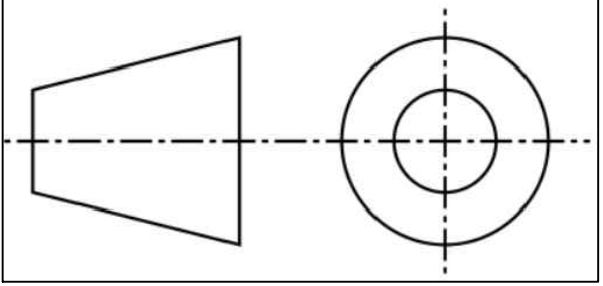

Fecha:

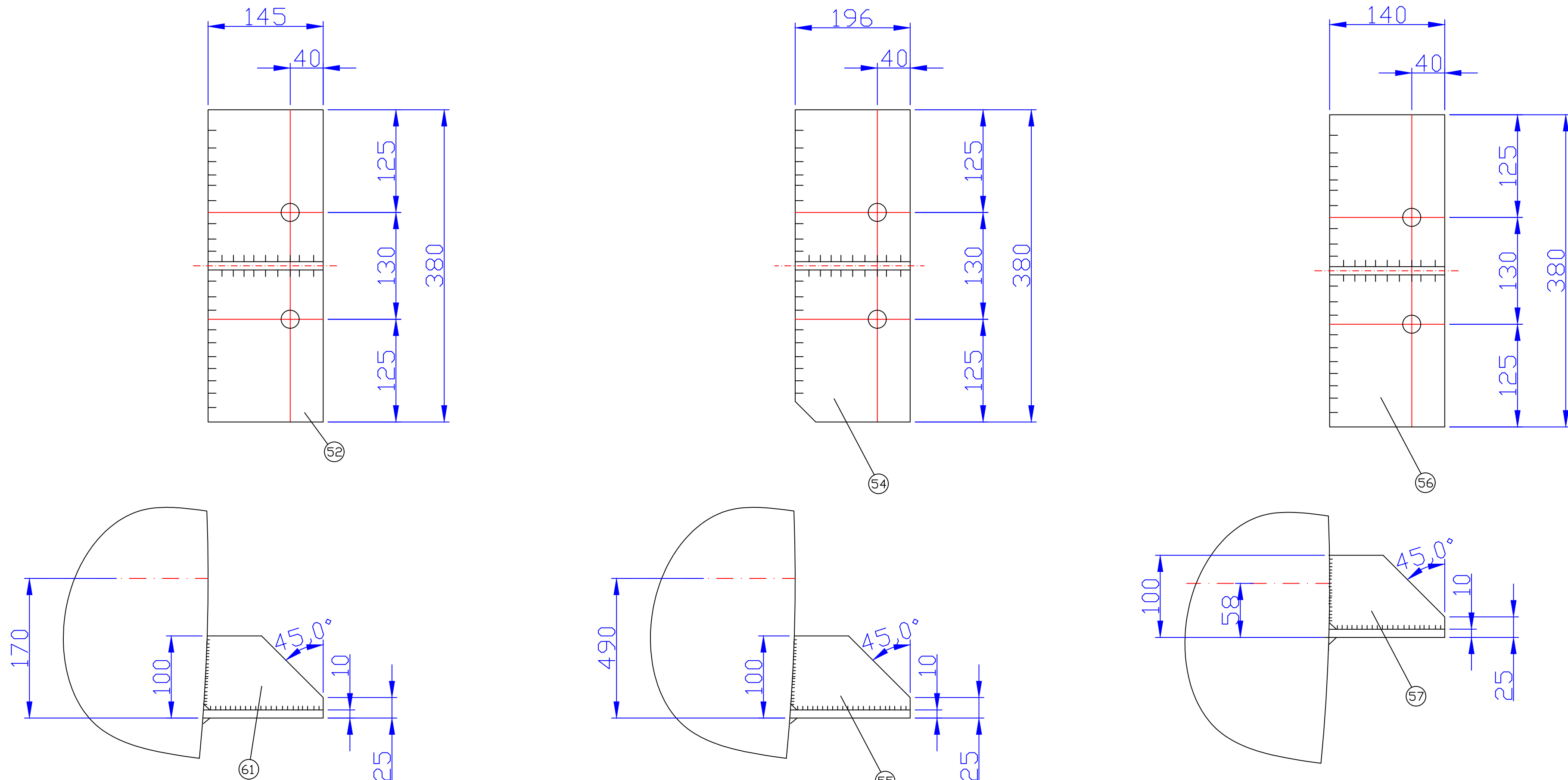
07/09/2020





MARCA	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
29	TUBO Ø8" SCH80 L=255	SA-106 GrB	1
30	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 475mm ESPESOR 6mm	SA-516 Gr70	1
31	BRIDA ØEXT.1057 ØINT.905 CON 44 AGUJEROS DE Ø26 ESPESOR 17mm	SA-516 Gr70	1
32	BRIDA DE LA CUBIERTA Ø1057 44 AGUJEROS DE Ø26 ESPESOR 17mm	SA-516 Gr70	1
33	PERNDS 1"x100	SA-193 B7	44
34	JUNTA GARLOCK 3700 ESPESOR 3mm ØEXT.984 ØINT.900	—	1
35	SOPORTE DE PESCANTE Ø2" SCH80	SA-312 TP304	1
36	PLACA DE BOCA DE HOMBRE 2796x250 Ø900 ESPESOR 10mm	SA-516 Gr70	1
37	PERCHA REDONDA Ø15mm	SS304L	2
38	PLACA 80X60X15	SA-516 Gr70	1
39	CÁNCAMO M20	—	1
40	PLACA 85x64X12	SA-516 Gr70	4
41	PERNDS M20X110	SA-193 B7	1
42	BRIDA ØEXT.100 ØINT.62 ESPESOR 25	SA-105	1
43	BRIDA ØEXT.100 ØINT.62 ESPESOR 10	SA-105	1
44	TUBO Ø2 ½" L=165	SA-106 GrB	1
45	PLACA DE COBERTURA Ø100 ESPESOR 10mm	SA-516 Gr70	1
46	PLACA DE REFUERZO 140x15mm	SA-516 Gr70	1
47	PLACA DE COBERTURA Ø60 ESPESOR 15mm	SA-516 Gr70	1
48	BRIDA SLIP DN Ø8"	SA-105	1
49	PLACA DE REFUERZO ANCHURA 133mm ESPESOR 6mm	SA-516 Gr70	1
50	BRIDA SLIP DN Ø1"	SA-105	1
51	TUBO Ø1" SCH160 L=255mm	SA-106 GrB	1

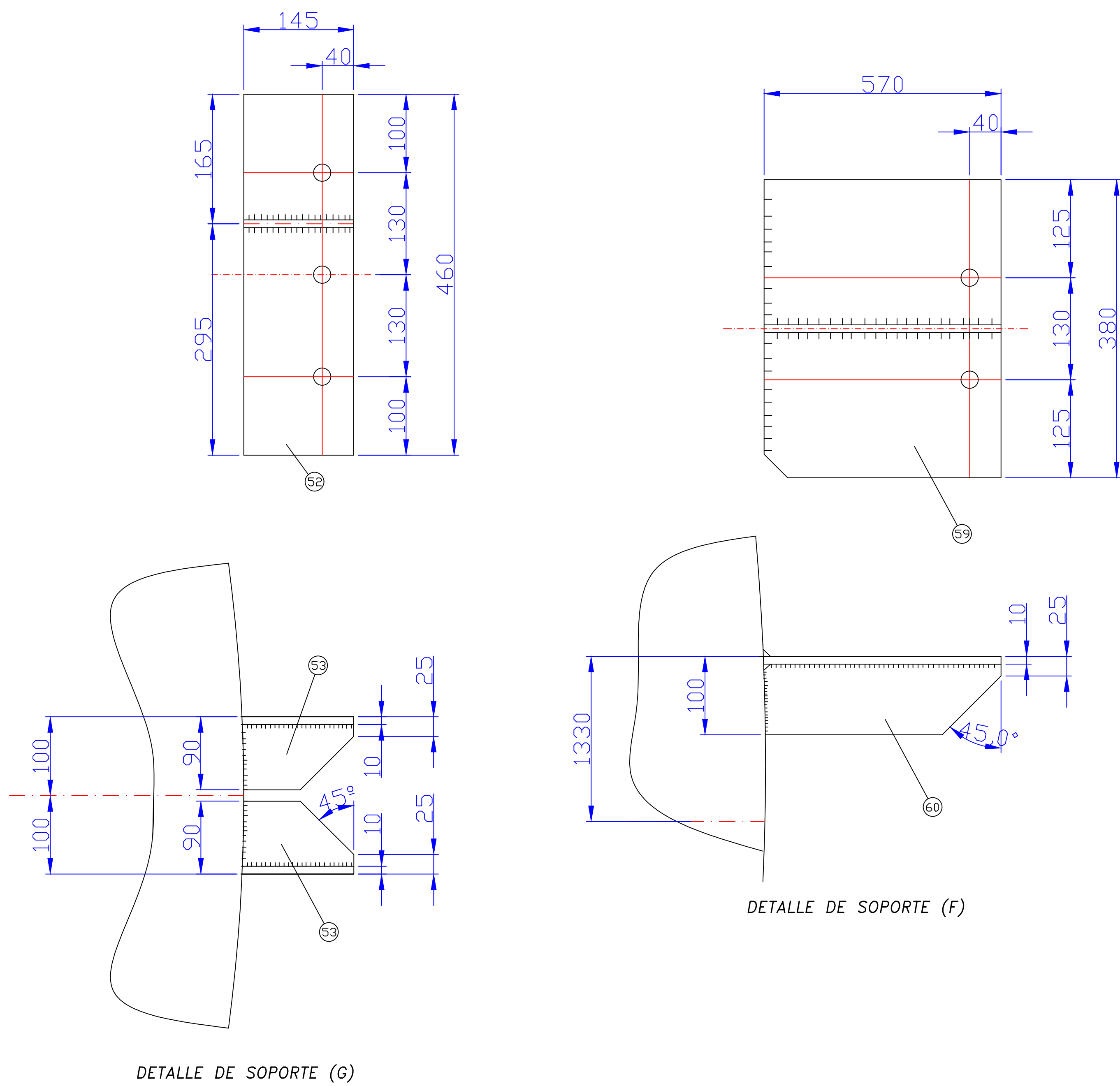
Autor: Aarón Juan Martínez		Unidad dimensional: mm	
Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales		Escala: sin escala	
Proyecto: Diseño y cálculo estructural de tanque para industria petroquímica y de cunas para su transporte		Método de representación: 	
	Título del plano:		Número de plano: 2
	Tanque de almacenamiento		Idioma: es
		Hoja del plano: 3/4	
		Fecha: 07/09/2020	



DETALLE DE SOPORTE (A,B)

DETALLE DE SOPORTE (C)

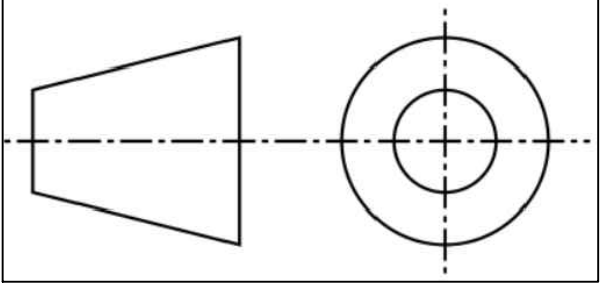

DETALLE DE SOPORTE (D,E)



DETALLE DE SOPORTE (G)

DETALLE DE SOPORTE (H)

MARCA	DENOMINACIÓN	MATERIAL	CANTIDAD
52	PLACA 145x380x10	SA-S16 Gr70	4
53	PLACA 145x90x10	SA-S16 Gr70	6
54	PLACA 145x380x10	SA-S16 Gr70	1
55	PLACA 196x90x10	SA-S16 Gr70	1
56	PLACA 140x380x10	SA-S16 Gr70	2
57	PLACA 140x90x10	SA-S16 Gr70	2
58	PLACA 145x460x10	SA-S16 Gr70	2
59	PLACA 570x380x10	SA-S16 Gr70	1
60	PLACA 570x100x10	SA-S16 Gr70	1
61	PLACA 145x100x10	SA-S16 Gr70	2

Autor: Aarón Juan Martínez		Unidad dimensional: mm	
Grado: Ingeniería en Tecnologías Industriales		Escala: sin escala	
Proyecto: Diseño y cálculo estructural de tanque para industria petroquímica y de cunas para su transporte		Método de representación: 	
	Título del plano:		Número de plano: 2
	Tanque de almacenamiento		Idioma: es
		Hoja del plano: 4/4	
		Fecha: 07/09/2020	